

PEDRO PAULO FAVATO BARCELOS

**ANÁLISE ARQUITETURAL, ONTOLÓGICA E PROPOSTA DE
MODELO DE REFERÊNCIA PARA A RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Anilton Salles Garcia

Coorientador: Prof. Dr. Maxwell E. Monteiro

VITÓRIA

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

B242a Barcelos, Pedro Paulo Favato, 1985-
Análise arquitetural, ontológica e proposta de modelo de
referência para a Recomendação ITU-T G.805 / Pedro Paulo
Favato Barcelos. – 2011.
141 f. : il.

Orientador: Anilton Salles Garcia.
Coorientador: Maxwell Eduardo Monteiro.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Ontologia. 2. Recomendação ITU-T G.805. 3. Modelagem
conceitual. I. Garcia, Anilton Salles. II. Monteiro, Maxwell Eduardo,
1973-. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Tecnológico. IV. Título.

CDU: 621.3

PEDRO PAULO FAVATO BARCELOS

**ANÁLISE ARQUITETURAL, ONTOLÓGICA E PROPOSTA DE
MODELO DE REFERÊNCIA PARA A RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 07 de abril de 2011.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Anilton Salles Garcia - Orientador
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Maxwell E. Monteiro - Coorientador
Instituto Federal do Espírito Santo

Prof.^a Dr.^a Luiziana Silveira de Rezende
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof.^a Dr.^a Rosane Bodart Soares
Universidade Federal do Espírito Santo

DEDICATÓRIA

A meus pais e a toda minha família, pelo apoio sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por mais essa importante vitória em minha vida.

Ao meu pai, à minha mãe, aos meus irmãos e a todos meus familiares pelo apoio, confiança e incentivo.

À Schwanny, minha sempre presente namorada, por todo amor, companhia, auxílio, atenção e paciência.

Ao professor Anilton, pelas portas abertas e pela orientação, que vem guiando minha vida acadêmica e profissional nos últimos três anos.

Aos companheiros de trabalho Prof. Dr. Maxwell E. Monteiro e Prof. Dr. Giancarlo Guizzardi, pelas contribuições fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos pelo apoio e companheirismo, em especial a Fabbiano F. Ferrari e Rodrigo S. Tessinari, companheiros de graduação, projeto, mestrado e, futuramente, doutorado.

Aos professores Dr. Marcelo E. Segatto e Dr. Antônio M. Frasson e a todos os integrantes da equipe do projeto UFES-Padtec.

Aos membros da banca, Prof.^a Dr.^a Luiziana Rezende e Prof.^a Dr.^a Rosane Bodart Soares, pelo tempo dedicado para correção deste projeto.

À PADTEC S.A. pelo projeto no qual este trabalho se encontra inserido no contexto.

Agradeço também a todos os meus companheiros de mestrado, professores e funcionários do programa de pós-graduação em engenharia elétrica da UFES.

RESUMO

A recomendação ITU-T G.805 (ITU-T, 2000) é uma importante recomendação para redes de transporte, pois descreve uma arquitetura funcional genérica independente de tecnologias para este domínio e é usada como base para outras recomendações que descrevem a arquitetura funcional de redes, a gerência, a avaliação de desempenho e a especificação funcional de equipamentos.

Apesar de fornecer uma ferramenta ágil para a descrição da arquitetura, a apresentação dos conceitos é feita de forma textual, gerando confusão por conta de definições recursivas e exemplos não claros, que muitas vezes até mesmo se contradizem. Esses aspectos da recomendação a torna de difícil entendimento, podendo confundir o leitor.

É importante que, devido sua fundamental relevância, essa recomendação seja livre desses problemas. Para tal, é proposta nesta dissertação a utilização de técnicas de modelagem conceitual baseadas em ontologias para a geração de um modelo de referência para a área de redes de transporte, a partir da Recomendação ITU-T G.805.

Além dos principais conceitos da recomendação são também apresentadas as vantagens da criação de um modelo de referência em ontologias e as principais tecnologias utilizadas para este objetivo. São realizadas uma análise arquitetural e uma reestruturação dos componentes definidos pela recomendação e uma avaliação ontológica da mesma, verificando casos de incompletudes, ambiguidades e outras deficiências ontológicas e apontando soluções. Por fim, é apresentado o modelo de referência em ontologia desenvolvido para a Recomendação ITU-T G.805, incluindo o modelo conceitual e suas regras de derivação e de restrição.

ABSTRACT

The ITU-T Recommendation G.805 (ITU-T, 2000) is an important recommendation for transport networks. It describes a generic functional architecture that is independent of technology for this domain and it is used as the basis for recommendations that describe the functional architecture of networks, management, performance analysis and functional specification of equipment.

Despite providing a flexible tool for the architecture description, the recommendation presents its concepts textually, leading to confusion because of recursive definitions and unclear examples that are often contradictory. These aspects of the recommendation make it difficult to understand and may confuse the reader.

It is important that, due to its fundamental importance, this recommendation is free from these problems. For this purpose, this work proposes the use of ontology-based conceptual modeling techniques for the generation of a reference model for the transport network domain, based on the ITU-T Recommendation G.805.

In addition to the recommendation main concepts, the advantages of creating an ontology-based reference model and the main technologies used for this purpose are also presented. An architectural analysis and a restructuring of the components defined by the recommendation are performed together with an ontological evaluation of it. Cases of incompleteness, ambiguities and other deficiencies are checked and solutions are pointed. Finally, the ontology-based reference model developed for the ITU-T Recommendation G.805 is presented, including the conceptual model and its derivation and restrictions rules.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Falsa concordância entre entidades comunicantes. Adaptado de (GUIZZARDI, 2005).....	27
Figura 2-2 - Inferência de conhecimento.....	28
Figura 2-3 - Diferentes formas de alinhamento entre modelo e codificação. Baseado em (KELLY e TOLVANEN, 2008).....	29
Figura 2-4 - Alto custo na migração de código em uma arquitetura não orientada a modelagem.....	30
Figura 2-5 - Baixo custo em uma arquitetura orientada a modelagem.....	31
Figura 2-6 - Diversas possibilidades de implementação da ontologia como modelo conceitual.....	32
Figura 2-7 - Distinções ontológicas em modelagem OntoUML. Adaptado de (GUIZZARDI, 2005).....	38
Figura 2-8 - Possíveis relações de tempo de vida entre um todo e uma de suas partes essenciais. Traduzido de (GUIZZARDI, 2005)	40
Figura 2-9 - Exemplo de composição com parte essencial	41
Figura 2-10 - Possíveis relações de tempo de vida entre um todo e uma de suas partes inseparáveis. Traduzido de (GUIZZARDI, 2005)	41
Figura 2-11 - Possíveis relações de tempo de vida entre um todo e uma de suas partes essenciais e inseparáveis. Traduzido de (GUIZZARDI, 2005)	42
Figura 2-12 - Exemplo de composição com partes essenciais e inseparáveis	42
Figura 3-1 - Exemplo de Rede de Transporte (ITU-T, 2000).....	46
Figura 3-2 - Componentes Arquiteturais	48
Figura 3-3 - Ortogonalidade dos conceitos de particionamento e divisão em camadas. Traduzida de (ITU-T, 2000)	49
Figura 3-4 – Visão Vertical e Horizontal e seus tipos de componente	54
Figura 3-5 – Modelagem simplificada da composição de camadas de rede	56
Figura 3-6 - Componentes da rede utilizada como exemplo (ITU-T, 2000).....	57
Figura 3-7 - Componentes Físicos e seus Pontos de Referência	58
Figura 3-8 - Entidades de Transporte inferidas na camada cliente	59

Figura 3-9 - Representação Topológica da Camada de Rede	60
Figura 3-10 - Inferência dos Componentes Arquiteturais	61
Figura 4-1 - Equalização de Termos	63
Figura 4-2 - Deficiências ontológicas em um mapeamento de um universo de discurso para uma especificação. Baseado em (FETTKE e LOOS, 2005)	64
Figura 4-3 - Composição de camadas de caminho e de transmissão	68
Figura 4-4 - Modelo conceitual simplificado dos componentes topológicos	69
Figura 4-5 - Modelo representando a existência de um Link Físico	71
Figura 4-6 - Exemplo de representação do trecho de uma rede pela recomendação ITU-T G.805 (ITU-T, 2000)	73
Figura 4-7 - Entidades de Transporte inferidas na camada cliente	73
Figura 4-8 - Modelo conceitual da matriz física	74
Figura 4-9 – Diferentes tipos de TCPs relacionando diferentes tipos de componentes físicos	79
Figura 4-10 - Existência e localização de CPs	80
Figura 5-1 - Estrutura de Capítulos da Recomendação ITU-T G.805	83
Figura 5-2 - Itens Modelados da Recomendação ITU-T G.805.....	84
Figura 5-3- Processo de criação do modelo de referência	85
Figura 5-4 - Submodelo Componentes Arquiteturais	86
Figura 5-5 - Submodelo Funções de Processamento de Transporte	87
Figura 5-6 - Eliminação de cardinalidade zero	88
Figura 5-7 - Existência de cardinalidade zero	89
Figura 5-8 - Submodelo Entidades de Transporte.....	90
Figura 5-9 – Trilha unidirecional	91
Figura 5-10 - Conexões de rede unidirecionais de caminho e fim.....	91
Figura 5-11 - Diferentes tipos de conexões de rede.....	92
Figura 5-12 - Submodelo Conexões de Sub-rede	93
Figura 5-13 - Submodelo Conexões de Link	94

Figura 5-14 - Submodelo Suporte de Componentes	95
Figura 5-15 – Dependências entre entidades de transporte de diferentes camadas	96
Figura 5-16 - Submodelo TPF Origem	97
Figura 5-17 - Relacionamentos entre TTFs e AFs de origem.....	97
Figura 5-18 - Relacionamento entre TTF de origem e PM	98
Figura 5-19 - Relacionamento entre TTF de origem e link físico.....	98
Figura 5-20 - Submodelo Pontos de Referência	99
Figura 5-21 - Submodelo Pontos de Conexão do tipo AF	100
Figura 5-22 - Submodelo Pontos de Conexão do tipo PM	101
Figura 5-23 - Submodelo Componentes Topológicos	102
Figura 5-24 - Submodelo Camada de Rede e Relacionamento Cliente/Servidor....	103
Figura 5-25 - Diferentes tipos de camada de rede existentes	104
Figura 5-26 - Regra de derivação do relacionamento <i>client-server Layer connection</i>	107
Figura 5-27 - Exemplo de propriedade funcional.....	109
Figura 5-28 - Exemplo de propriedade funcional inversa	110
Figura 5-29 - Exemplo de propriedade transitiva.....	111
Figura 5-30 - Exemplo de propriedade simétrica.....	112
Figura 5-31 - Exemplo de propriedade antissimétrica	113
Figura 5-32 - Exemplo de propriedade reflexiva.....	113
Figura 5-33 - Exemplo de propriedade irreflexiva.....	114
Figura 5-34 - Aciclicidade do relacionamento <i>client-server Layer connection</i>	115
Figura 5-35 - Composição de pontos de acesso bidirecionais	116
Figura 5-36 - APs bidirecionais	116
Figura 6-1 - Exemplo de inferência de componentes	122
Figura I- 1 - Submodelo Componentes Arquiteturais	130
Figura I- 2 - Submodelo Funções de Processamento de Transporte	131

Figura I- 3 - Submodelo Entidades de Transporte.....	132
Figura I- 4 - Submodelo Relacionamentos Horizontais	133
Figura I- 5 - Submodelo Conexões de Sub-rede e de Link	134
Figura I- 6 - Submodelo Suporte de Componentes	135
Figura I- 7 - Submodelo TPF Origem	136
Figura I- 8 - Submodelo TPF Destino	137
Figura I- 9 - Submodelo Pontos de Referência	138
Figura I- 10 - Submodelo Pontos de Conexão	139
Figura I- 11 - Submodelo Componentes Topológicos	140
Figura I- 12 - Submodelo Camadas de Rede e Relacionamento Cliente/Servidor..	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 - Possíveis ligações entre TPFs e Entidades de Transporte e os RP resultantes segundo a Recomendação ITU-T G.805. Baseado em (ITU-T, 2000)....77

Tabela 4-2 - RPs resultantes de ligações entre componentes físicos da rede78

LISTA DE SIGLAS/ACRÔNIMOS

AF – Função de Adaptação (*Adaptation Function*)

AG - Grupo de Acesso (*Access Group*)

AP – Ponto de Acesso (*Access Point*)

ATM - *Asynchronous Transfer Mode*

CP – Ponto de Conexão (*Connection Point*)

DSL - Linguagem Específica de Domínio (*Domain Specific Language*)

DSM - Modelagem Específica de Domínio (*Domain Specific Modeling*)

EER – Modelo Entidade Relacionamento Melhorado (*Enhanced Entity-Relationship*)

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IETF - *Internet Engineering Task Force*

ITU-T – Setor de Padronização da União Internacional de Telecomunicações
(*International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector*)

LC - Conexões de Link (*Link Connection*)

NC - Conexão de Rede (*Network Connection*)

OCh - *Optical Channel*

OML - *Object Modeling Language*

OMS - *Optical Multiplex Section*

OTN – Redes Ópticas de Transporte (*Optical Transport Network*)

OWL - *Web Ontology Language*

PDH - *Plesiochronous Digital Hierarchy*

PM – Matriz Física (*Physical Matrix*)

RDF - *Resource Description Language*

RDFS - *Resource Description Language Schema*

RP - Ponto de referência (*Reference Point*)

RWA - *Routing and Wavelength Assignment*

SDH - *Synchronous Digital Hierarchy*

SNC - Conexões de Sub-rede (*Subnetwork Connection*)

SWRL - *Semantic Web Rule Language*

TCP – Ponto de Terminação de Trilha (*Termination Connection Point*)

TPF - Função de Processamento de Transporte (*Transport Processing Function*)

TTF - Funções de Terminação de Trilha (*Trail Termination Function*)

UFO - *Unified Foundational Ontology*

UML - *Unified Modeling Language*

VTD - *Virtual Topology Design*

WTSC - *World Telecommunication Standardization Conference*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	18
1.2	JUSTIFICATIVA.....	19
1.3	OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS	20
1.4	TRABALHOS RELACIONADOS	21
1.4.1	Ontologias para a Recomendação ITU-T G.805	21
1.4.2	A NDL	22
1.4.3	Avaliação ontológica de modelos conceituais	22
1.5	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	23
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	23
2	MODELO DE REFERÊNCIA BASEADO EM ONTOLOGIAS	25
2.1	A IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM CONCEITUAL UTILIZANDO ONTOLOGIAS	26
2.1.1	Identificação de Deficiências Ontológicas	26
2.1.2	Auxílio à troca de informações e interoperação.....	26
2.1.3	Possibilidade de Inferência de Conhecimento.....	28
2.1.4	Arquitetura de desenvolvimento orientada a modelagem.....	29
2.2	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO: POSSIBILIDADES E VANTAGENS	31
2.2.1	Linguagem específica para o domínio de redes de transporte	33
2.2.2	Editor de redes inteligente	34
2.2.3	Proposta de serviços semânticos relacionados ao autogerenciamento em Redes Ópticas de Transporte.....	34
2.3	ONTOUML: LINGUAGEM DE MODELAGEM EM ONTOLOGIAS.....	35
2.3.1	Estereótipos.....	36
2.3.2	Relações.....	39
2.4	CONCLUSÕES	43
3	A RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805	44
3.1	PRINCIPAIS CONCEITOS	45
3.1.1	Componentes Arquiteturais	46

3.1.2	Particionamento e Divisão em Camadas.....	48
3.2	ANÁLISE ARQUITETURAL DOS COMPONENTES.....	51
3.2.1	Tipos dos Componentes Arquiteturais.....	51
3.2.2	Diferentes Visões: Visão Horizontal e Vertical.....	53
3.2.3	Inferência de Conceitos	56
3.3	CONCLUSÕES	61
4	AVALIAÇÃO ONTOLÓGICA DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805	62
4.1	FRAMEWORK DE AVALIAÇÃO ONTOLÓGICA	63
4.1.1	Sobrecarga de Construtores.....	65
4.1.2	Excesso de Construtores.....	65
4.1.3	Redundância de Construtores	66
4.1.4	Incompletude	66
4.2	ANÁLISE E AVALIAÇÃO ONTOLÓGICA DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805.....	67
4.2.1	Fim da Recursão em Camadas de Rede e Distinção entre Link e Conexão de Link	67
4.2.2	Incompletude no conceito de Camada de Rede.....	71
4.2.3	Incompletude no conceito de Grupo de Acesso	71
4.2.4	Matriz: Conceitos Físicos, de Transporte e Topológicos	72
4.2.5	Pontos de Referência	76
4.3	CONCLUSÕES	81
5	ONTOLOGIA DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805	82
5.1	CONSIDERAÇÕES	82
5.2	ESCOPO	83
5.3	METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DA ONTOLOGIA.....	84
5.4	ONTOLOGIA DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805	85
5.4.1	Componentes Arquiteturais	86
5.4.2	Funções de Processamento de Transporte.....	86
5.4.3	Entidades de Transporte	89
5.4.4	Relacionamentos Horizontais	91
5.4.5	Conexões de Sub-rede e de Link	93
5.4.6	Suporte de Componentes.....	95

5.4.7	TPF Origem	96
5.4.8	Pontos de Referência	99
5.4.9	Pontos de Conexão	100
5.4.10	Componentes Topológicos	101
5.4.11	Submodelo Camadas de Rede e Relacionamento Cliente/Servidor	103
5.5	REGRAS DE RESTRIÇÃO E DERIVAÇÃO DO MODELO	104
5.5.1	Regras de derivação dos relacionamentos do modelo	105
5.5.2	Regras que definem propriedades dos relacionamentos.....	108
5.5.3	Regras para composição de pontos de referência bidirecionais	115
5.5.4	Outras regras do submodelo	117
5.6	CONCLUSÕES	119
6	CONCLUSÃO	121
6.1	RESULTADOS.....	121
6.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
6.3	TRABALHOS FUTUROS	124
7	BIBLIOGRAFIA.....	126
	ANEXO I – MODELO DE REFERÊNCIA PARA A RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805.....	130

1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta uma introdução sobre o trabalho, contendo: contextualização e motivação, justificativa, objetivos e resultados esperados, trabalhos relacionados e as principais contribuições. A estrutura da dissertação também é exibida.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

As redes de transporte são uma categoria de redes de telecomunicações cujo principal objetivo é fornecer serviços básicos para a composição de outros serviços de telecomunicações (MONTEIRO, 2010). Nesse domínio, a Recomendação ITU-T G.805 (ITU-T, 2000) tem papel fundamental, pois descreve uma arquitetura funcional genérica para essas redes, servindo como base para outras recomendações que descrevem a arquitetura funcional de redes como, por exemplo, *Asynchronous Transfer Mode* (ATM), *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH), *Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH) e para outros grupos de recomendações relativas a gerência, avaliação de desempenho e especificação funcional de equipamentos. Cita-se aqui, em especial, estreita relação com a especificação de redes ópticas de transporte (OTN – *Optical Transport Networks*), definida na Recomendação ITU-T G.872 (ITU-T, 2001). As redes OTN foram desenvolvidas como uma evolução das redes de transporte. Essas satisfazem os requerimentos das redes de próxima geração que possuem uma meta de prover transporte eficiente para tráfego orientado a dados (INIEWSKI, MCCROSKY e MINOLI, 2008).

A recomendação ITU-T G.805 apresenta seus componentes arquiteturais de forma mais genérica possível com o intuito de, como dito anteriormente, ser base para uma série de recomendações que tratam de tecnologias específicas para redes de transporte. Apesar de fornecer uma ferramenta ágil para a descrição da arquitetura, a apresentação dos conceitos é feita de forma textual, gerando confusão por conta de definições recursivas e exemplos não claros, que muitas vezes até mesmo se contradizem. Esses aspectos da recomendação a tornam de difícil entendimento,

podendo confundir o leitor. Muitas vezes esses problemas surgem devido à utilização da linguagem natural, neste caso, o inglês.

É importante que, devido sua fundamental relevância, essa recomendação seja clara, completa e não ambígua, eliminando assim a propagação de problemas para as recomendações que a utilizam. Uma vez que a recomendação apresente tais características, ela cumprirá plenamente seu dever: servir de base para especificação de redes de transporte e para as diversas tecnologias que as implementam. Um modelo conceitual dessa recomendação em forma de ontologia possibilitaria a criação de um modelo de referência (claro e não ambíguo) para o domínio, que especialistas poderiam se referir quando desejassem tratar da arquitetura de redes de transporte.

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido a natureza da recomendação de tentar ser a mais genérica possível, com o intuito de servir de base para uma ampla gama de recomendações, seu entendimento é muitas vezes confuso, com definições não claras e exemplos aparentemente incompletos. Esse fato torna necessária uma melhor organização do conhecimento contido na recomendação. Há a necessidade de se realizar uma análise arquitetural dos componentes da recomendação, redefinindo seu real papel desempenhado, suas possíveis ligações e origens, eliminando termos ambíguos e obscuros e completando a recomendação com novos termos necessários.

A modelagem conceitual baseada em ontologias é uma ferramenta eficiente para a elaboração de modelos de referência em diversas áreas. Ontologias provêm um grande número de recursos para sistemas inteligentes, assim como para representação de conhecimento em geral e para processos de engenharia de conhecimento (GAŠEVIĆ, DJURIĆ e DEVEDŽIĆ, 2006).

É aqui proposta a utilização de técnicas de modelagem conceitual baseadas em ontologias para a geração de um modelo de referência para a área de redes de transporte, a partir da Recomendação ITU-T G.805. Este modelo de referência possibilita grandes vantagens como: auxílio à interoperação entre pessoas, grupos

de trabalho e aplicações; eliminação de deficiências ontológicas (como redundâncias, ambiguidades e outros) da própria recomendação; inferência automática de conhecimento; e a possibilidade de criação de aplicações com certo grau de inteligência e autonomia para o domínio.

1.3 OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS

O objetivo geral desta dissertação é a elaboração de uma modelo conceitual de ontologia para a recomendação ITU-T G.805, contribuindo com a solidez da recomendação e servindo como subsídio para seu órgão padronizador, a ITU-T, e para seus usuários, através da identificação de deficiências e de proposta de soluções.

O trabalho apresentado nesta dissertação tem como objetivos específicos (1) a apresentação das vantagens da elaboração de um modelo de referência, (2) a realização de uma análise arquitetural dos componentes da recomendação ITU-T G.805 e, posteriormente, (3) a realização de uma análise e avaliação ontológica da mesma através da utilização de um *framework* baseado em ontologias. Esta dissertação também tem como objetivo (4) a documentação do modelo conceitual baseado em ontologia produzido para a recomendação, incluindo exemplos das regras lógicas utilizadas para restrição e inferência de novos conhecimentos no modelo.

Espera-se, com a análise arquitetural dos componentes da recomendação ITU-T G.805 uma melhor estruturação dos componentes arquiteturais definidos pela recomendação, exemplificando os reais papéis desempenhados por esses componentes, suas possíveis ligações e a possibilidade de inferência de componentes. Como resultado da avaliação ontológica da recomendação, espera-se a identificação de problemas ontológicos como redundâncias, excessos, ambiguidades e incompletudes. E, com a modelagem conceitual da recomendação em ontologia, espera-se a criação de um modelo de referência para redes de transporte que possibilite a eliminação dos eventuais problemas identificados pela avaliação ontológica.

1.4 TRABALHOS RELACIONADOS

1.4.1 Ontologias para a Recomendação ITU-T G.805

Uma primeira proposta de utilização de uma implementação de ontologias para redes ópticas de transporte, baseada nas recomendações ITU-T G.805 e ITU-T G.872, bem como um estudo sobre ontologias, as vantagens de seu uso, suas principais aplicações, além de apresentar linguagens de representação e ferramentas de construção de ontologias, pode ser encontrada em (BARCELOS, 2009). Ressalta-se que esse trabalho não contempla um modelo conceitual baseado em ontologias dessas recomendações, apenas uma implementação direta em *Web Ontology Language* (OWL) (SMITH, WELTY e MCGUINNESS, 2004) das mesmas, utilizando-se a ferramenta de construção de ontologias Protégé (STANFORD CENTER FOR BIOMEDICAL INFORMATICS RESEARCH, 2009).

O resultado do trabalho citado é apresentado em (BARCELOS *et al.*, 2009). O artigo mostra as questões mais relevantes encontradas durante o processo de implementação e apresenta um estudo de caso onde os conceitos clássicos de aplicações de *Virtual Topology Design* (VTD) e *Routing and Wavelength Assignment* (RWA) foram mapeados para a implementação da ontologia.

É apresentada, em (MONTEIRO *et al.*, 2010), uma versão inicial do modelo conceitual da Recomendação ITU-T G.805. O artigo apresenta, de forma mais restrita, a modelagem dos principais conceitos da recomendação, propriedades, relações e restrições. Além disso, é apresentada uma série de regras de inferência que podem ser usadas para derivar automaticamente novos conhecimentos a partir do conhecimento explicitamente representado no modelo. Finalmente, o documento mostra uma implementação desse modelo de referência em OWL estendido por regras *Semantic Web Rule Language* (SWRL). O modelo conceitual inicialmente apresentado nesse artigo é apresentado em sua versão final no capítulo 5 desta dissertação

Monteiro, em (MONTEIRO, 2010), propõe uma arquitetura de *software*, baseada nessa mesma ontologia da recomendação ITU-T G.805, cujo objetivo é facilitar a

criação de sistemas de autogerenciamento, conferindo-lhes a oportunidade de estabelecer um ecossistema com as características de interoperabilidade e reusabilidade.

1.4.2 A NDL

A *Network Description Language* (NDL) (RESEARCH GROUP SYSTEM AND NETWORK ENGINEERING, 2011), que também propõe a definição de uma linguagem conceitual para descrição de redes de telecomunicações, foi desenvolvida na linguagem *Resource Description Language* (RDF) e *Resource Description Language Schema* (RDFS) (W3C, 2009) para resolver os problemas de interoperabilidade de conceitos e modelos de descrição de redes, permitindo a aplicação de métodos de roteamento interdomínio de operação.

Seu grau de desenvolvimento permite a criação de ferramentas de apoio à descrição e localização de recursos da rede. Entretanto, conforme explicado pelos próprios autores da NDL, ela não se propõe a representar fidedignamente o modelo proposto pela ITU-T em sua recomendação G.805. Além disso, sua representação através de RDF e RDFS lhe impõe restrições de expressividade, podendo assim ser inadequada para determinadas aplicações (MONTEIRO *et al.*, 2010). Esse fato também restringe o uso da NDL como modelo conceitual, pois ela não foi concebida para esse fim.

1.4.3 Avaliação ontológica de modelos conceituais

O trabalho de Fettke e Loos, em (FETTKE e LOOS, 2005), trata da questão de como a qualidade de um modelo de referência pode ser determinada, analisando esses modelos de um ponto de vista ontológico. Um exemplo prático é demonstrado para a análise do modelo de referência de Scheer para planejamento e controle de sistemas (SCHEER, 1994).

1.5 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Uma primeira contribuição da dissertação aqui apresentada é a análise realizada para os componentes arquiteturais apresentados no capítulo 5 da recomendação. Visando ser a mais genérica possível, a recomendação apresenta os componentes e sua estruturação de forma muito ampla. Mesmo com a definição de uma linguagem visual para os componentes, não há uma definição mais formal da inter-relação e da inferência entre componentes. Devido a esse fato, lacunas são geradas possibilitando que o usuário faça sua própria interpretação, aumentando a possibilidade de erros. Sistemas construídos com base em interpretações errôneas da recomendação poderão não se comunicar, causar o problema da falsa concordância ou diversas outras inconsistências (ver seção 2.1).

Assim, a principal contribuição desta dissertação é proporcionar solidez para a recomendação ITU-T G.805. Uma vez identificados problemas ontológicos nessa recomendação, é necessário que estes sejam eliminados para que não se propaguem nas recomendações que a utilizam como base. O modelo de referência aqui construído, livre desses problemas, serve como auxílio a usuários da recomendação e também ao órgão padronizador da mesma para a eliminação dos problemas apontados.

A possibilidade de criação de aplicações com certo grau de inteligência para a área de redes de transporte, baseadas no modelo de referência construído, também é uma importante contribuição deste trabalho.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação apresenta, em seu capítulo 2, a importância da modelagem conceitual utilizando ontologias, destacando, principalmente, a identificação de deficiências ontológicas, o auxílio à troca de informações e interoperação, a possibilidade de inferência de conhecimentos e as vantagens da utilização de uma arquitetura de desenvolvimento orientado a modelagem.

Este mesmo capítulo também apresenta as possibilidades de implementação do modelo conceitual desenvolvido e apresenta a OntoUML (GUIZZARDI, 2005), a linguagem modelagem conceitual ontologicamente fundamentada, extensão da tradicional *Unified Modeling Language* (UML), utilizada para a formalização do modelo conceitual. São apresentados todos os principais conceitos utilizados no desenvolvimento do modelo da recomendação ITU-T G.805.

O capítulo 3 introduz a recomendação ITU-T G.805 e seus principais conceitos: os componentes arquiteturais e os conceitos de particionamento e divisão em camadas. É realizada neste capítulo uma análise arquitetural dos componentes, onde são esclarecidas as funções reais de cada componente, a relação entre eles, e a possibilidade de inferência de componentes a partir dos componentes físicos da rede. Também é proposto um conceito de diferentes visões para um melhor entendimento da recomendação.

O capítulo 4 apresenta a análise ontológica da recomendação ITU-T G.805, realizada utilizando-se um *framework* apresentado na primeira seção deste capítulo. Além de apontar uma série de deficiências ontológicas na especificação, são exibidos fragmentos do modelo de referência produzido para ilustrar as possíveis soluções para os problemas identificados.

O capítulo 5 apresenta o modelo conceitual ontológico desenvolvido para a Recomendação ITU-T G.805. Estão contidas as descrições dos submodelos existentes e exemplos das regras de restrição e derivação do modelo. Devido à limitação de espaço, apenas algumas dessas regras são apresentadas.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões da dissertação, as considerações finais, os resultados obtidos, as sugestões de trabalhos futuros e o capítulo 7 apresenta a bibliografia utilizada no desenvolvimento desta dissertação. O Anexo I traz todos os submodelos desenvolvidos para a ontologia da Recomendação ITU-T G.805.

2 MODELO DE REFERÊNCIA BASEADO EM ONTOLOGIAS

Modelagem conceitual baseada em ontologias é uma ferramenta eficiente para a elaboração de modelos de referência em diversas áreas. Ontologias provêm um grande número de recursos para sistemas inteligentes, assim como para representação de conhecimento em geral e para processos de engenharia de conhecimento, sendo alguns dos principais: um vocabulário de termos não ambíguo e semanticamente independente do leitor e do contexto; uma taxonomia de conceitos, isto é, uma categorização ou classificação hierárquica de entidades dentro de um domínio; e, principalmente, seu reuso e compartilhamento de conhecimento por pessoas, grupos de trabalho e aplicações (GAŠEVIĆ, DJURIĆ e DEVEDŽIĆ, 2006).

Há muitas aplicações em potencial para ontologias. Fikes, em (FIKES, 1998), dividiu as principais áreas de aplicação de ontologias em: colaboração, onde ontologias provêm um “esqueleto” de conhecimento unificado que pode ser utilizado como uma referência comum e compartilhada para futuros desenvolvimentos e participações; interoperação, onde o uso de ontologias permite integração de informações de fontes diferentes; educação, onde serve de fonte de referência e conhecimento sobre domínio específico; e modelagem, representando importantes blocos reutilizáveis, que muitas aplicações específicas podem incluir como módulos de conhecimento pré-desenvolvidos (GAŠEVIĆ, DJURIĆ e DEVEDŽIĆ, 2006).

A seção 2.1 deste capítulo apresenta a importância da modelagem conceitual para a geração de modelos de referência, incluindo as vantagens de descoberta de deficiências ontológicas, de inferência de conhecimentos e das vantagens de se adotar uma arquitetura de desenvolvimento baseada em modelagem. A seção 2.2 apresenta possibilidades de aplicações inteligentes para a área de redes de transporte baseadas na ontologia desenvolvida nesta dissertação. A seção 2.3 apresenta a linguagem OntoUML (GUIZZARDI, 2005), utilizada para o desenvolvimento da ontologia da Recomendação ITU-T G.805. A seção 2.4, por sua vez, apresenta as conclusões do capítulo.

2.1 A IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM CONCEITUAL UTILIZANDO ONTOLOGIAS

2.1.1 Identificação de Deficiências Ontológicas

As especificações são, para o mundo de telecomunicações, os documentos base que contêm as descrições de uma tecnologia específica. Em geral essas especificações são chamadas de recomendações, padronizações ou normas por seus órgãos padronizadores como, por exemplo, a *International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector* (ITU-T), a *Internet Engineering Task Force* (IETF), a *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), etc. Normalmente recomendações são liberadas em forma de texto utilizando-se linguagem natural, isto é, são escritas em uma linguagem específica como, por exemplo, o inglês. Sendo assim, elas não garantem consistência dos dados lá contidos, muitas vezes apresentando problemas estruturais e conceituais. Com uma modelagem de informação em modelo de referência bem fundamentada dessas normas, é possível encontrar esses possíveis problemas e modelá-los de forma que garantam consistência, melhorando assim, além da solidez da recomendação, sua legibilidade e usabilidade.

A criação de um modelo de referência para a recomendação ITU-T G.805 (apresentada no capítulo 5 desta dissertação), utilizando-se uma linguagem de modelagem altamente expressiva e apoiada em uma ontologia de fundamentação, possibilita eliminar alguns problemas identificados no momento de sua leitura e interpretação. Dentre os principais problemas encontrados estão: a falta de clareza que se origina da descrição em linguagem natural, problemas de coerência e ambiguidades.

2.1.2 Auxílio à troca de informações e interoperação

A modelagem conceitual tem um papel fundamental na estruturação de conhecimento em modelos de referência para trabalho cooperativo entre integrantes

de um grupo, entre grupos de trabalho ou aplicações, na eliminação de inconsistências e de ambiguidades, bem como pode prover inteligência e autonomia a aplicações.

Uma vez que há a necessidade de interoperação e cooperação entre pessoas, equipes ou aplicações, é necessário que haja uma concordância de significado sobre termos do domínio no qual essas trabalham. Termos ambíguos ou obscuros podem causar vários problemas que originam sistemas finais inconsistentes. Um conhecido problema em sistemas mal estruturados é o problema da falsa concordância (GUARINO, 1998), ilustrado na Figura 2-1 a seguir, onde conceituações dos sistemas A e B (C_A e C_B , respectivamente) são incompatíveis, porém, devido à fraca representação desses, há uma falsa concordância de significado entre os sistemas A e B, levando a inconsistências. Isto é, sistemas estão interoperando acreditando falar de uma mesma coisa, porém, na verdade, esses sistemas são incompatíveis.

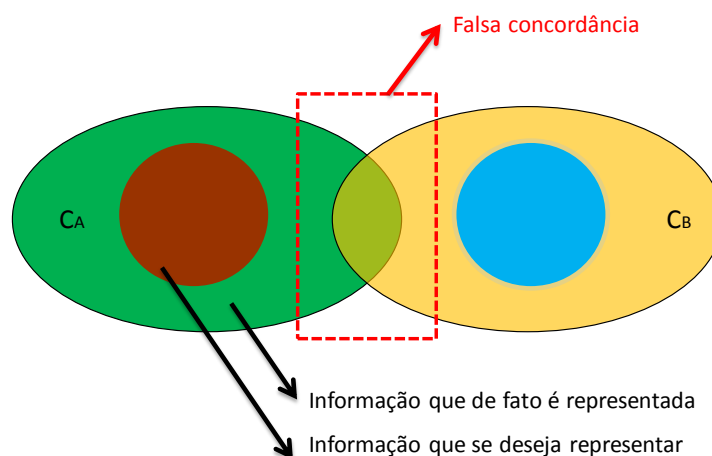


Figura 2-1 - Falsa concordância entre entidades comunicantes. Adaptado de (GUIZZARDI, 2005)

Um modelo de referência de informação bem estruturado pode eliminar este problema, garantindo consistência de informação e eliminação de ambiguidades e outros problemas. Linguagens de modelagem baseadas em ontologias de fundamentação, como a OntoUML, podem dar suporte a elaboração de modelos de referência com essas características. Outra possibilidade de utilização de um modelo de referência é a checagem de consistência de conhecimentos. Uma vez afirmada uma sentença, é possível verificar se essa é válida de acordo com o

modelo de referência, eliminando assim erros conceituais antes que esses se propaguem.

2.1.3 Possibilidade de Inferência de Conhecimento

Modelos de Referência de Informação são *frameworks* conceituais e podem ser utilizados como base para o desenvolvimento de sistemas de informação (FETTKE e LOOS, 2005). Dentro dessa área, a modelagem de informações é um instrumento vital para o desenvolvimento de sistemas de informação (FRANK, 1999; MYLOPOULOS, 1998; SCHEER e HARS, 1992; WAND e WEBER, 2002).

Um sistema de regras lógicas possibilita inferência de conhecimento, provendo um grau de inteligência às aplicações. Isto é, há a possibilidade de geração de novos conhecimentos a partir da base de conhecimentos original. Um exemplo de geração de conhecimento é mostrado na Figura 2-2 a seguir, onde uma regra lógica de primeira ordem diz que, sempre que houver um relacionamento específico entre as duas funções de terminação de trilha (TTF ou *Trail Termination Function*) de camadas diferentes haverá um relacionamento cliente-servidor entre as camadas que contêm essas entidades.

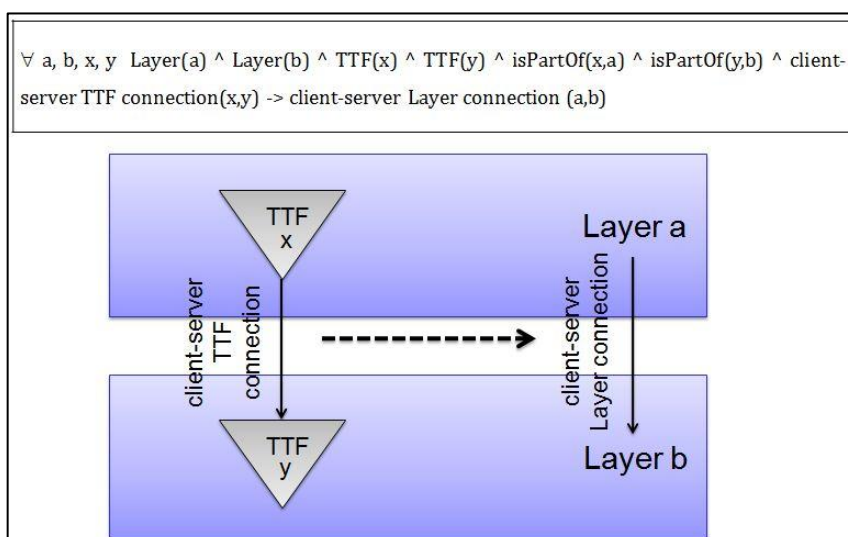


Figura 2-2 - Inferência de conhecimento

Outras regras lógicas para inferência de conhecimento da ontologia da Recomendação ITU-T G.805 são apresentadas na seção 5.5.

2.1.4 Arquitetura de desenvolvimento orientada a modelagem

Os desenvolvedores geralmente distinguem entre modelagem e codificação. Os modelos são usados para projetar sistemas, entendendo-os melhor, especificando as funcionalidades necessárias, e para criação de documentação. O código é então escrito para implementar os projetos. Depuração, testes e manutenção também são realizados no nível de código. Frequentemente, modelagem e codificação são desnecessariamente vistos como desconectados, mas há várias maneiras de alinhá-los (KELLY e TOLVANEN, 2008). A Figura 2-3 ilustra algumas das diferentes abordagens.

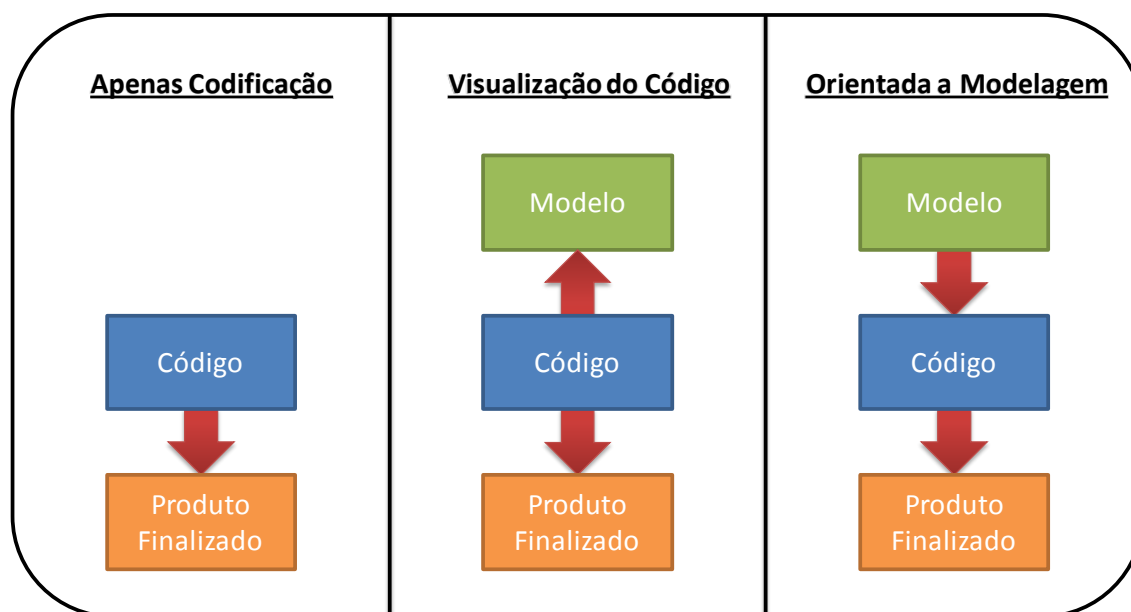


Figura 2-3 - Diferentes formas de alinhamento entre modelo e codificação. Baseado em (KELLY e TOLVANEN, 2008)

Em um extremo, não é criado nenhum modelo, as funcionalidades são especificadas diretamente no código. Segundo (KELLY e TOLVANEN, 2008), se o recurso a ser desenvolvido é pequeno e a funcionalidade puder ser expressa diretamente no código, essa é uma abordagem que funciona bem. O código pode ser testado e depurado, e se algo precisa ser mudado, muda-se o código.

Porém, para *softwares* mais complexos, uma vez que é necessária a manutenção, modificação do código ou caso queira migrar o código para outra linguagem, é necessário entender quais as especificações e requisitos foram considerados para a implementação. Nesse caso, modelos são utilizados para engenharia reversa:

quando se tenta entender a conceituação por trás do *software* depois que ele é projetado e construído (caso “visualização do código” da Figura 2-3). Esse processo, representado na Figura 2-4 a seguir, é muito custoso, tanto em questões financeiras quanto de tempo, e frequentemente ocorre quando não se adota uma arquitetura de desenvolvimento orientada a modelagem.

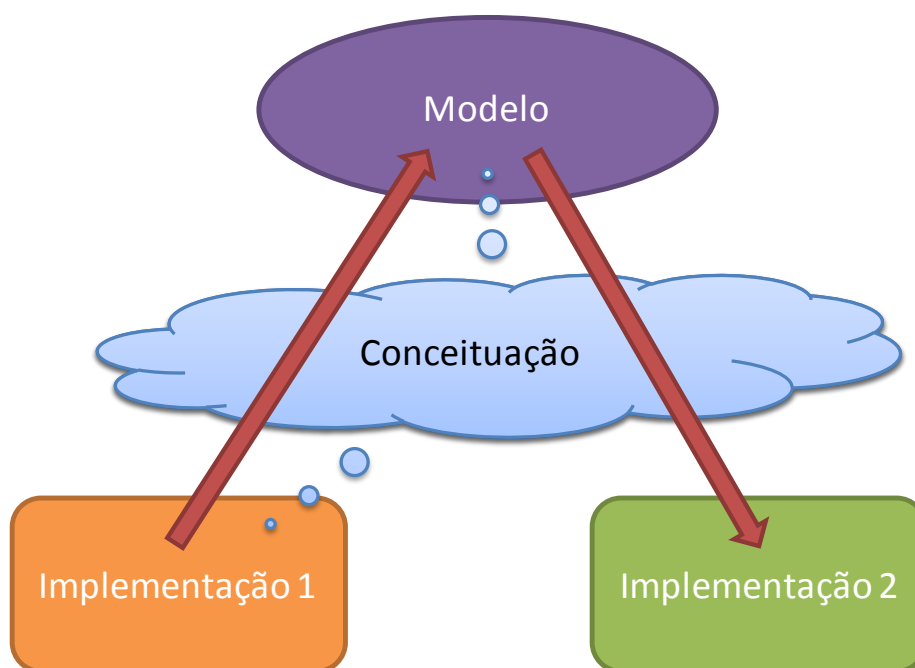


Figura 2-4 - Alto custo na migração de código em uma arquitetura não orientada a modelagem

Em uma arquitetura de desenvolvimento orientada a modelagem, utiliza-se modelos como os artefatos primários do processo de desenvolvimento: ao invés de código-fonte, se tem um modelo fonte. Sempre que possível essa abordagem deve ser utilizada, pois eleva o nível de abstração, diminuindo assim a complexidade (KELLY e TOLVANEN, 2008). Essa abordagem inclusive traz a possibilidade de geradores automáticos de código a partir do modelo – um método eficiente e livre de erros. Uma representação dessa arquitetura pode ser encontrada na Figura 2-5 a seguir.

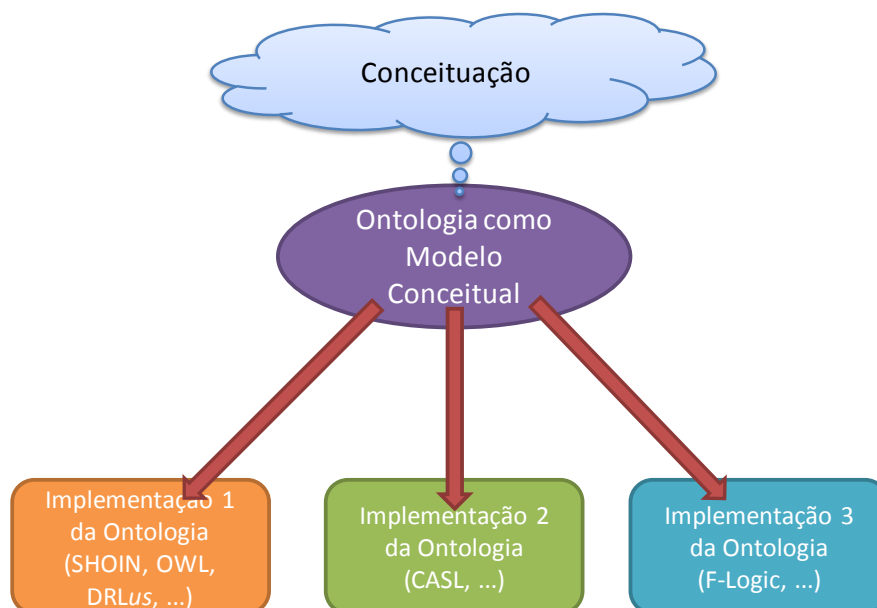


Figura 2-5 - Baixo custo em uma arquitetura orientada a modelagem

Essa arquitetura reduz o custo de implementação de novos *softwares*, visto que a partir de um único modelo conceitual, dependendo dos requisitos do *software* a ser gerado, pode-se realizar a codificação em qualquer paradigma ou linguagem de implementação. A escolha da linguagem a ser utilizada torna-se uma questão de projeto.

2.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO: POSSIBILIDADES E VANTAGENS

Uma vez que o modelo conceitual de referência baseado em ontologias existe para o domínio, dependendo dos requisitos, diversas são as formas de implementação, em diferentes paradigmas. Essa implementação pode ser realizada tanto em linguagens convencionais (como, por exemplo, em linguagens orientadas a objeto) quanto em linguagens de implementação de ontologias.

Dentro da categoria de linguagens de implementação de ontologias, destacam-se dois paradigmas: o paradigma clássico, baseado em noções de lógica padrão, como lógica proposicional, de primeira ordem e de descrição; e o paradigma *datalog*, baseado em noções de bancos de dados orientados a objeto e linguagens de regras. Há diferenças significativas entre os dois paradigmas. Essas diferenças vão desde aspectos computacionais até o poder de expressividade e a naturalidade da

modelagem nestes paradigmas (PATEL-SCHNEIDER e HORROCKS, 2007). A escolha de qual linguagem deve ser utilizada para a implementação do modelo deve ser realizada na etapa de projeto da aplicação. A Figura 2-6 a seguir ilustra possibilidades de implementação da ontologia como modelo conceitual em diversas linguagens de implementação.

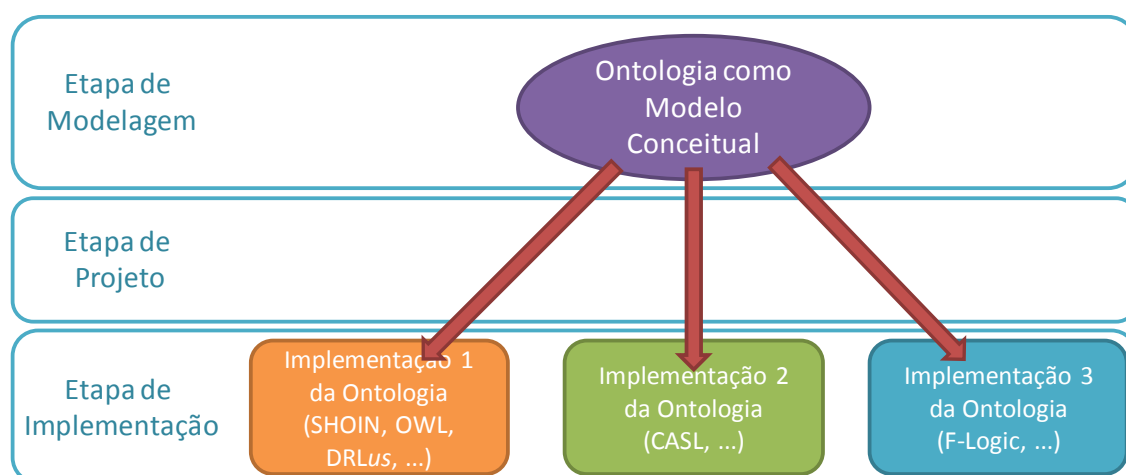


Figura 2-6 - Diversas possibilidades de implementação da ontologia como modelo conceitual

Um fato conhecido é que há perda de expressividade entre a modelagem (orientada ao entendimento humano) e a implementação (orientada ao entendimento de máquinas), pois essa última deve satisfazer aspectos computacionais como tratabilidade e decidibilidade.

A existência do modelo de referência para o domínio possibilita a criação de uma linguagem específica de domínio, que melhora a produtividade aumentando a abstração para desenvolvedores. Uma introdução sobre a possibilidade de uma Linguagem Específica de Domínio (DSL ou *Domain Specific Language*) para o domínio de redes de transporte é encontrada na subseção 2.2.1 a seguir.

A implementação do modelo em ontologia da Recomendação ITU-T G.805 para redes de transporte em uma linguagem de um dos vários paradigmas existentes possibilita a criação de uma série de aplicações com certo grau de inteligência e autonomia para esse domínio. São algumas dessas possibilidades: um editor de redes, apresentado na subseção 2.2.2; e uma proposta de serviços semânticos relacionados ao autogerenciamento em Redes Ópticas de Transporte, trabalho desenvolvido em (MONTEIRO, 2010) e apresentado na subseção 2.2.3.

2.2.1 Linguagem específica para o domínio de redes de transporte

De acordo com (KELLY e TOLVANEN, 2008), a engenharia de Linguagens Específicas de Domínio, ou DSLs, é cada vez mais reconhecida como uma técnica importante de produtividade, que aumenta a agilidade das empresas na concepção, desenvolvimento e configuração de seus produtos. DSLs fornecem um meio para reduzir a distância de comunicação entre usuários e desenvolvedores. Eles permitem que os requisitos e especificações tornem-se tangíveis para os usuários e desenvolvedores. Finalmente, as DSLs documentam partes críticas do conhecimento associado a uma aplicação ou produto, reduzindo assim os custos do ciclo de vida na evolução desse aplicativo.

Uma Modelagem Específica de Domínio (DSM ou *Domain Specific Modeling*), cujo ambiente de desenvolvimento engloba três etapas: a criação de uma DSL, um gerador de códigos específico de domínio e um *framework* de domínio; eleva o nível de abstração, enquanto, ao mesmo tempo, estreita o espaço de projeto, gerando uma gama de produtos de uma mesma companhia. Com DSMs, os produtos finais são automaticamente gerados a partir dessas especificações de alto nível através dos geradores de código específicos do domínio. Assim já não há nenhuma necessidade de fazer mapeamentos (propenso a erros) de conceitos de domínio para conceitos de projeto e para os conceitos da linguagem de programação. Esse mais alto nível de abstração proporcionado pelo uso de DSM é baseado não em conceitos de propósito geral, mas em conceitos que são específicos para cada domínio de aplicação (KELLY e TOLVANEN, 2008).

A existência de um modelo conceitual de referência para a área de redes de transporte proporciona a criação de DSLs para o domínio. Essas DSLs podem, então, ser utilizadas no desenvolvimento eficiente de *software* utilizado para o suporte, a concepção, operação e gerência de rede das várias tecnologias do domínio de redes de transporte.

2.2.2 Editor de redes inteligente

A existência de uma ontologia como modelo de referência para a área possibilita a criação de editores de rede com certo grau de inteligência e automação.

Partindo do princípio de que (devido à existência do modelo de referência) o editor conheça todas as possibilidades de relacionamentos e de componentes existentes no domínio de redes de transporte, bem como regras de inferência de novos conhecimentos a respeito desse domínio, pode-se garantir conformidade total com a norma para estruturas e topologias geradas a partir do editor.

Suponha que um usuário queira, por exemplo, realizar uma ligação entre a saída de um TTF de origem e a entrada de uma Função de Adaptação (AF ou *Adaptation Function*) de origem (ver capítulo 3 para uma descrição dos componentes arquiteturais de uma rede de transporte) - uma ligação válida. O editor faz a checagem de consistência da estrutura representada e a valida, permitindo a ligação.

Mais do que apenas permitir a ligação, consultando o modelo conceitual, o editor pode inferir que sempre que há uma ligação desse tipo, obrigatoriamente existirá um Ponto de Terminação de Trilha (*Termination Connection Point*, TCP) de origem e o incluirá na rede criada.

Porém, caso um usuário tente, por exemplo, realizar uma ligação (inválida) entre a saída de um TTF de origem com a entrada de outro TTF de origem, o editor verificará se essa ligação é possível no modelo e, uma vez verificado a não validade da ligação, o editor pode, além de informar sobre o erro encontrado, baseado nas possibilidades de ligações dos TTFs de origem e de destino, fazer sugestões para a eliminação do problema, auxiliando o usuário.

2.2.3 Proposta de serviços semânticos relacionados ao autogerenciamento em Redes Ópticas de Transporte

Monteiro (2010), através de uma análise da literatura clássica sobre a gerência de redes e sobre o estado da arte do autogerenciamento, revela que tanto as técnicas e

mecanismos já consolidados quanto as mais recentes contribuições não abordam o problema da interoperabilidade e reusabilidade dos modelos semânticos sobre as redes de telecomunicações e sobre o processo da gerência de redes. Essas lacunas impedem avanços na direção de um princípio básico do autogerenciamento: o estabelecimento de um ecossistema de gerenciamento com vistas à autorregulação (compartilhamento de modelos e cooperação).

Em resposta a essa lacuna Monteiro (2010) propõe uma arquitetura de *software* cujo objetivo é facilitar a criação de sistemas de autogerenciamento, conferindo-lhes a oportunidade de estabelecer um ecossistema com as características de interoperabilidade e reusabilidade. Ao especificar preliminarmente o provedor de serviços semânticos da gerência de redes, principal elemento da arquitetura, evidencia-se que um ponto chave para a contribuição pretendida é o uso de ontologias computacionais. Sua capacidade de compartilhamento dos conceitos de um domínio, de extensão e de inferência lógica a tornam uma poderosa ferramenta para a constituição do ecossistema de gerência de redes.

No mesmo trabalho é apresentada uma prova de conceito, através de um protótipo de *software*. A prova de conceito ratifica a viabilidade da proposta e o potencial da mudança de paradigma na criação de sistemas de autogerenciamento (MONTEIRO, 2010).

2.3 ONTOUML: LINGUAGEM DE MODELAGEM EM ONTOLOGIAS

Modelagem conceitual de domínio é uma etapa metodológica, onde os principais conceitos e definições de um determinado domínio são capturados utilizando uma linguagem de modelagem conceitual projetada especificamente com o objetivo de maximizar a expressividade ontológica e clareza conceitual. Em outras palavras, essa linguagem deve ser capaz de captar os conceitos e relacionamentos de uma forma que maximize a adequação da representação, independentemente das restrições e compromissos computacionais. Para fazer isso, esse tipo de linguagem deve conter primitivas de modelagem baseada em ontologias de fundamentação,

que tem como objetivo descrever as relações entre os elementos mais básicos de qualquer domínio (GUIZZARDI e HALPIN, 2008).

O Modelo de Referência da Recomendação ITU-T G.805 é construído utilizando a linguagem de modelagem conceitual chamada OntoUML, proposta em (GUIZZARDI, 2005) e estendido com restrições de domínio capturadas como regras lógicas de primeira ordem.

OntoUML é uma linguagem baseada em primitivas gramaticais UML ampliadas para refletir distinções ontológicas descritas na *Unified Foundational Ontology* (UFO) (GUIZZARDI e WAGNER, 2005). A UFO é uma ontologia de fundamentação que garante conceitos primitivos básicos sobre os quais ontologias específicas de domínio podem ser construídas. OntoUML tem sido aplicada com sucesso na construção de modelos de referência em vários domínios diferentes (por exemplo, no domínio de eletrocardiografia em (GONÇALVES *et al.*, 2008) e no domínio de óleo e gás, em (GUIZZARDI *et al.*, 2009)).

As subseções a seguir apresentam brevemente as primitivas de modelagem da OntoUML existentes na ontologia da Recomendação ITU-T G.805. São essas primitivas: estereótipos, que representam distinções ontológicas sobre os tipos de classificadores propostos na teoria; e restrições sobre relações estabelecidas entre estes elementos, que representam os postulados da teoria. Um ótimo resumo dos principais conceitos da UFO e da OntoUML pode ser encontrado em (ZAMBORLINI, 2008) que, juntamente com (GUIZZARDI, 2005), são utilizados como referência para as subseções a seguir.

2.3.1 Estereótipos

Optou-se por apresentar os estereótipos em língua inglesa, conforme concebido em (GUIZZARDI, 2005). Para a ontologia da Recomendação ITU-T G.805, são utilizados *kinds* (espécies), *subkinds* (subespécies), *roles* (papeis), *categories* (categorias), *relators* (relacionadores) e *modes* (modos).

2.3.1.1 *Kinds*

Uma classe UML estereotipada com «*kind*» representa um sortal (categoria ontológica que fornece tanto um princípio de aplicação e um princípio de identidade) que fornece um princípio de identidade para as suas instâncias. *Kinds* são tipos rígidos, o que significa que instâncias desses tipos continuarão a sê-lo enquanto existirem no modelo.

Exemplos de *kinds* são espécies naturais (como pessoa, cão e árvore) e artefatos (como cadeira, carro e televisão).

2.3.1.2 *Subkinds*

Kinds podem ser especializados em *subkinds*, um subtipo rígido que herda o princípio de identidade fornecido pelo *kind*. Exemplos: homem e mulher são *subkinds* (especializações) do *kind* pessoa.

2.3.1.3 *Roles*

Um *role* é uma entidade antirrígida (uma vez instanciado, ele pode deixar de ser em outro momento) que define o papel de um sortal, mediante a existência de uma relação ou da participação em um evento, e herda dele o princípio da identidade.

Exemplos: mãe é o *role* (o papel) do *subkind* mulher mediante a existência de uma relação com uma instância do *role* filho do *kind* pessoa.

2.3.1.4 *Category*

Representa um tipo rígido que agrega propriedades essenciais que são comuns a diferentes objetos sortais.

Exemplo: Entidade racional generaliza os *kinds* pessoa e agente inteligente.

2.3.1.5 Relators

Relators são entidades com o poder de conectar outras entidades. Uma conexão de vôo, por exemplo, possui um *relator* que conecta os aeroportos, um código de inscrição é um *relator* que conecta um aluno com uma instituição de ensino. Eles desempenham um papel importante na resposta às perguntas do tipo: o que significa dizer que João é casado com Maria? Porque é verdade que Bill trabalha na empresa X, mas não para a empresa Y? É um tipo rígido e existencialmente dependente das entidades que conecta.

Um exemplo dos conceitos *kind*, *subkind*, *role* e *relator* é ilustrado na Figura 2-7 a seguir.

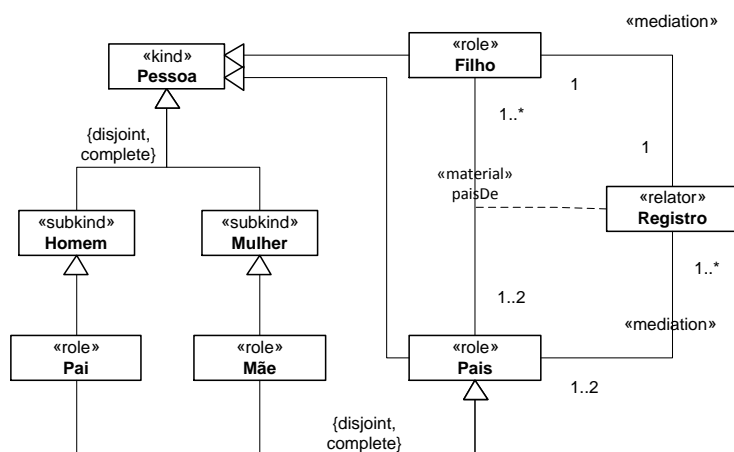


Figura 2-7 - Distinções ontológicas em modelagem OntoUML. Adaptado de (GUIZZARDI, 2005)

Além dos estereótipos de classes já apresentados nesta subseção, o exemplo apresentado na Figura 2-7 também apresenta relações do tipo material, de mediação e de derivação. Essas relações são explicadas na subseção 2.3.2.

2.3.1.6 Modes

Há momentos que podem ser conceituados em termos de múltiplas dimensões de qualidade separáveis. Os exemplos incluem as crenças, desejos, intenções, percepções, sintomas, habilidades, entre muitos outros. Denominam-se essas

entidades de *modes*. Cada instância de *mode* é existencialmente dependente de exatamente uma única entidade.

2.3.2 Relações

Relações são entidades que “colam” outras entidades. Divide-se as relações em duas grandes categorias, chamadas de relações materiais e relações formais, ambas explicadas a seguir. Relações formais se aplicam entre duas ou mais entidades diretamente, sem intervenção de qualquer indivíduo; enquanto as relações materiais têm estrutura material por conta própria.

2.3.2.1 Relações Materiais

Uma associação <<*material*>> representa um tipo de relação que é induzida por um *relator*.

Exemplo: estudante estuda em universidade (relação induzida pelo *relator* matrícula) e pessoa é casado com pessoa (relação induzida pelo *relator* casamento).

2.3.2.2 Relações de Derivação

Uma relação de derivação representa a relação formal de derivação que ocorre entre uma relação material do *relator* que essa relação material é derivada. Exemplos incluem a relação material “casado com”, que é derivada do *relator* casamento. É representado por uma linha pontilhada.

2.3.2.3 Relações de Mediação

Representa um tipo de relação formal que relaciona um *relator* aos objetos que ele media.

Exemplo: O casamento media os *roles* esposo e esposa.

2.3.2.4 Relações de Todo-Parte

Relações todo-parte são de importância significativa na modelagem conceitual, estando presente em praticamente todas as linguagens de modelagem conceitual e linguagens orientadas a objetos (por exemplo: OML, UML, EER, LINGO) (GUIZZARDI, 2005). São aqui descritas as relações de partes essenciais e de partes inseparáveis.

2.3.2.4.1 Parte Essencial

São aquelas em que um todo não pode existir sem aquela parte específica. A parte pode até existir não compondo um todo, porém o todo só existe se composto por aquela parte. A Figura 2-8 a seguir ilustra o tempo de vida de um todo e uma parte essencial deste todo.

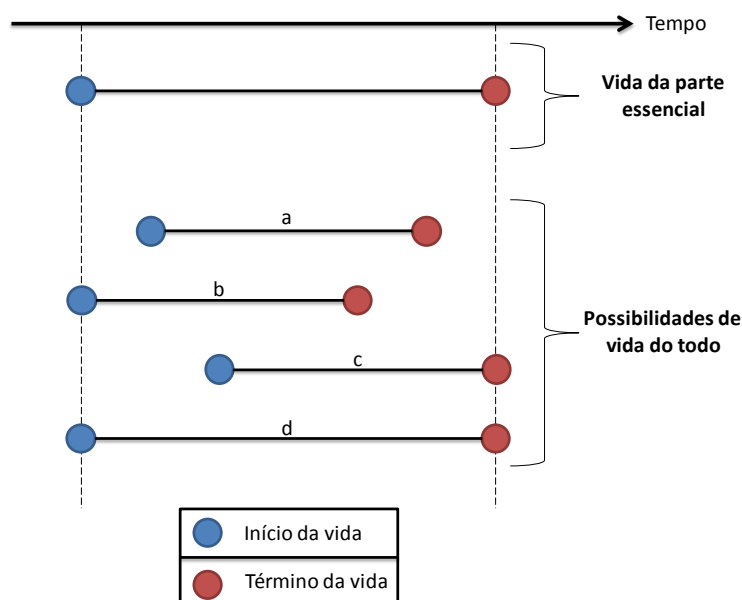


Figura 2-8 - Possíveis relações de tempo de vida entre um todo e uma de suas partes essenciais. Traduzido de (GUIZZARDI, 2005)

Um exemplo de composição deste tipo é a que ocorre entre uma conexão de rede (NC – *Network Connection*) bidirecional (o todo) e um NC unidirecional (a parte), mostrado na Figura 2-9 a seguir. Um NC bidirecional só pode existir composto de exatos dois NCs unidirecionais, porém estes NCs unidirecionais podem existir mesmo não compondo um NC bidirecional.

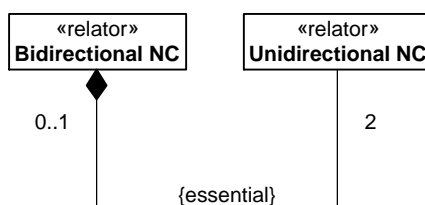


Figura 2-9 - Exemplo de composição com parte essencial

A descrição completa do modelo é apresentada no capítulo 5 desta dissertação.

2.3.2.4.2 Parte Inseparável

São aquelas nas quais uma parte não pode existir sem um todo específico. A parte não pode existir senão compondo um todo, porém o todo pode existir mesmo se não composto por aquela parte. A Figura 2-10 a seguir ilustra o tempo de vida de um todo e uma parte essencial deste todo.

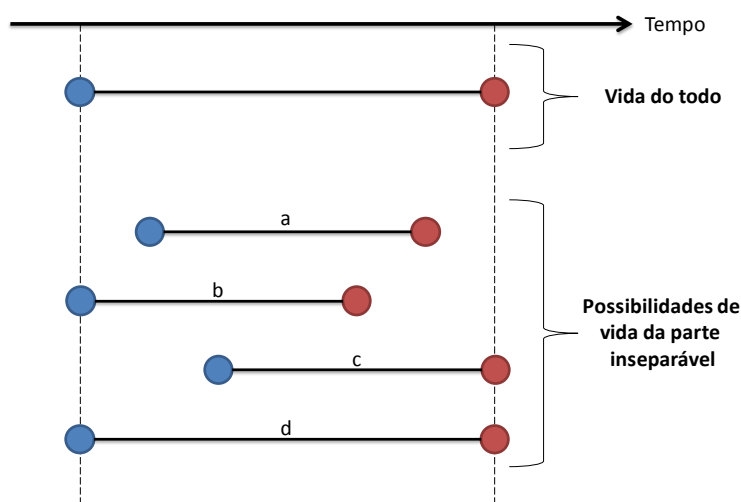


Figura 2-10 - Possíveis relações de tempo de vida entre um todo e uma de suas partes inseparáveis. Traduzido de (GUIZZARDI, 2005)

Uma parte pode também ser tanto essencial quanto inseparável para seu todo. Neste caso, o todo existe pelo tempo que a parte existir, e a parte só existe pelo tempo que o todo existir (Figura 2-11). Isto é, a parte só existe compondo o todo e o todo só existe se composto pela parte. Uma vez destruído o todo a parte é destruída e vice versa.

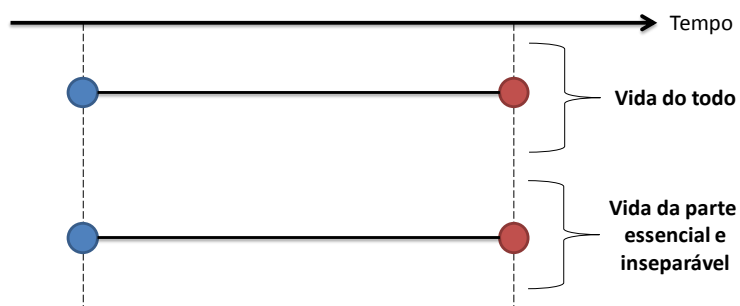


Figura 2-11 - Possíveis relações de tempo de vida entre um todo e uma de suas partes essenciais e inseparáveis. Traduzido de (GUIZZARDI, 2005)

Um exemplo de composição com parte essencial e inseparável pode ser visto na Figura 2-12 a seguir. Nela, um TTF de origem (*Source TTF*) é composto por uma ou mais saídas (*Source TTF Output*) e de exatamente uma entrada (*Source TTF Input*). Um TTF não pode existir sem entradas e saídas e essas entradas e saídas não podem existir sem que estejam compondo um TTF.

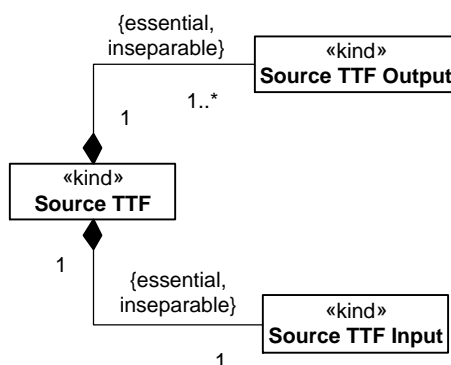


Figura 2-12 - Exemplo de composição com partes essenciais e inseparáveis

2.3.2.5 Relações de Caracterização

Uma caracterização é uma relação formal que ocorre entre um *mode* e a entidade que este *mode* caracteriza. Por exemplo, há uma relação de caracterização entre o *mode* sintoma e o *role* paciente (do *kind* pessoa) que este caracteriza.

2.4 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta a importância da modelagem conceitual utilizando ontologias e da existência de um modelo de referência em um domínio. São citadas as principais contribuições dessa abordagem, a saber: identificação de deficiências ontológicas, auxílio à troca de informações e interoperação, possibilidade de inferência e conhecimento, assim como o menor custo devido o uso de uma arquitetura de desenvolvimento orientada a modelagem.

Também são apresentadas as possibilidades de implementação do modelo conceitual produzido, citando inclusive as possíveis aplicações com certo grau de inteligência e autonomia que podem ser construídas baseadas no modelo.

Por fim, é apresentada a linguagem de representação de ontologias OntoUML, utilizada no desenvolvimento do modelo da Recomendação ITU-T G.805. Todas as primitivas de modelagem (estereótipos de classe e relações) utilizadas neste trabalho são apresentadas para uma melhor compreensão do modelo.

3 A RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805

A recomendação ITU-T G.805, de título “Arquitetura Funcional Genérica de Redes de Transporte” (“*Generic Functional Architecture of Transport Networks*”) (ITU-T, 2000) descreve uma arquitetura funcional genérica para redes de transporte do ponto de vista da capacidade de transferência da informação. Essa arquitetura funcional e estrutural das redes de transporte é descrita de forma independente de tecnologia. Portanto, essa recomendação é usada como base para outras recomendações que descrevem a arquitetura funcional de redes ATM, SDH, PDH, OTN e para outros grupos de recomendações para gerência, avaliação de desempenho e especificação funcional de equipamentos.

A recomendação ITU-T G.805 foi revisada pelo Grupo de Estudo 13 da ITU-T e aprovada pela Resolução 1 da *World Telecommunication Standardization Conference* (WTSC) no dia 10 de março de 2000. Ela apresenta, em seu capítulo 5, os componentes arquiteturais da rede (seção 5.2), os conceitos de particionamento e divisão em camadas (seção 5.3), supervisão de conexão (seção 5.4) e a interoperação entre camadas de rede (seção 5.5). No capítulo 6 da recomendação são apresentadas aplicações dos conceitos a topologias e estruturas de redes. Por último, no capítulo 7 da recomendação são apresentadas técnicas de melhoramento da disponibilidade de uma rede de transporte.

A seção 3.1 deste capítulo apresenta os principais conceitos da recomendação para fins desta dissertação, que são: os componentes arquiteturais e os conceitos de particionamento e divisão em camadas, incluindo o relacionamento cliente/servidor entre camadas adjacentes. Não é tema de interesse para esta dissertação a supervisão de conexão, a interoperação entre camadas de rede e as técnicas de melhoramento da disponibilidade de uma rede de transporte.

A seção 3.2 contém uma análise da estruturação dos componentes da recomendação, obtida dos estudos realizados para a modelagem da mesma, com sugestões de melhoras que facilitam a compreensão por usuários. A seção 3.3 por sua vez apresenta a conclusão do capítulo.

3.1 PRINCIPAIS CONCEITOS

Visto que as redes de transporte são grandes e complexas, com vários componentes, um modelo de rede apropriado com entidades funcionais bem definidas é essencial para seu projeto e gerência. Essas redes podem ser descritas pela definição das associações entre os pontos que as compõem. O capítulo 5 da recomendação ITU-T G.805 define um modelo genérico para descrever a arquitetura de redes de transporte.

O modelo funcional e estrutural definido pela ITU-T G.805 oferece um elevado nível de abstração dos elementos básicos de uma rede e define os conceitos relevantes para simplificar sua descrição. Como exemplos podem ser citados o conceito de particionamento (em que alguns elementos podem ser parte de outros, ou ser composto de outros) e divisão em camadas (cada tecnologia está dentro de uma camada e diferentes aspectos de uma rede podem ser vistos de diferentes camadas). Além disso, a recomendação define a relação cliente/servidor entre as camadas adjacentes.

A independência do modelo de arquitetura das tecnologias específicas é uma característica relevante. Esse recurso permite que as definições da recomendação ITU-T G.805 sejam utilizadas como base para outras recomendações de tecnologias específicas como, por exemplo, a recomendação ITU-T G.872 (ITU-T, 2001), denominada "Arquitetura de Redes Ópticas de Transporte" (OTN). Além da descrição textual, em linguagem natural, dos principais conceitos e relações, a ITU-T G.805 também contém uma linguagem visual que visa auxiliar uma melhor compreensão do documento. Essa linguagem, no entanto, é desprovida de semântica formal.

Um exemplo de rede de transporte abstrata utilizando-se a linguagem visual apresentada na recomendação é exibido na Figura 3-1 a seguir.

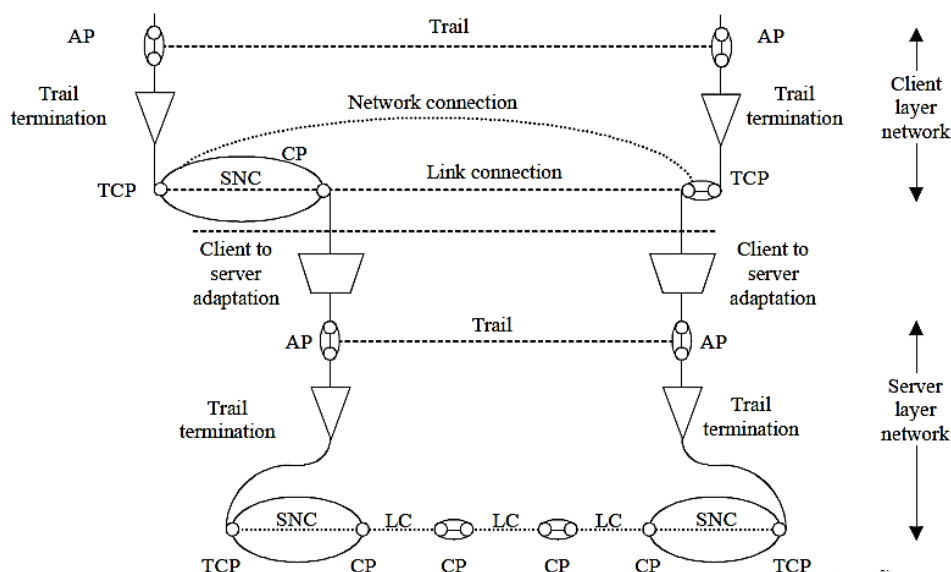


Figura 3-1 - Exemplo de Rede de Transporte (ITU-T, 2000)

As seções a seguir apresentam uma síntese das definições constantes da recomendação, notadamente os componentes arquiteturais e os conceitos de particionamento e divisão em camada, assim como apresenta uma análise arquitetural dos componentes.

3.1.1 Componentes Arquiteturais

Durante a elaboração da recomendação ITU-T G.805, funcionalidades genéricas de redes de transporte independentes da tecnologia de implementação foram analisadas para que fossem obtidos meios de se descrever funcionalidades de rede de um modo abstrato em termos de um pequeno número de componentes arquiteturais.

Esses componentes arquiteturais são definidos pelas funções que eles realizam em termos de processamento de informação ou pelos relacionamentos que eles descrevem entre outros componentes arquiteturais. Os componentes arquiteturais são associados de formas particulares para se formar os elementos com os quais as redes reais são construídas.

3.1.1.1 Componentes Topológicos

Componentes topológicos descrevem a topologia lógica de elementos dentro de uma camada de rede. Quatro são os tipos de componentes topológicos: camada de rede, sub-rede, link e grupo de acesso.

3.1.1.2 Entidades de Transporte

As entidades de transporte provêm transferência de informação transparente entre grupos de pontos de referência. Não há mudança de informações entre a entrada e a saída das entidades de transporte que não seja a resultante da degradação do processo de transferência.

Duas entidades básicas são distinguidas de acordo como a necessidade de monitoramento da informação transferida para verificação de sua integridade. São elas as conexões e as trilhas. De acordo com os componentes topológicos as quais pertencem, as conexões podem ser de quatro tipos: conexões de rede (NC), conexões de sub-rede (SNC) e conexões de link (LC).

3.1.1.3 Funções de Processamento de Transporte

São as funções de adaptação (AF) e as funções de terminação de trilha (TTF).

AFs fazem a adaptação da informação característica (informação transmitida pela camada) entre camadas, tanto adaptando da camada cliente em uma forma adequada para o transporte por uma trilha na camada de rede servidora (AF de origem), quanto convertendo a informação da trilha de uma camada servidora em informação característica da camada cliente (AF de destino).

TTF é uma função de processamento de transporte que recebe a informação característica de uma camada de rede adjacente, adiciona informações (cabeçalho) para permitir que a trilha seja monitorada (no caso origem) ou, que remove essa

informação de monitoramento da trilha (no caso destino) e apresenta o resultado em sua saída.

3.1.1.4 Pontos de Referência

A recomendação ITU-T G.805 define os pontos de referência como formados pela ligação entre entradas e saídas de funções de processamento de transporte e/ou de entidades de transporte. As ligações permitidas e seus tipos de pontos de referência resultantes são encontrados na Tabela 1, página 13, da recomendação (apresentada parcialmente na Tabela 4-1 da seção 4.2.5 desta dissertação, quando é realizada uma avaliação ontológica e problemas são identificadas na definição de pontos de referência). Três são os possíveis tipos de pontos de referência: pontos de acesso (AP), pontos de terminação de trilha (TCP) e pontos de conexão (CP).

A Figura 3-2 a seguir mostra um quadro contendo todos os componentes arquiteturais descritos na recomendação.

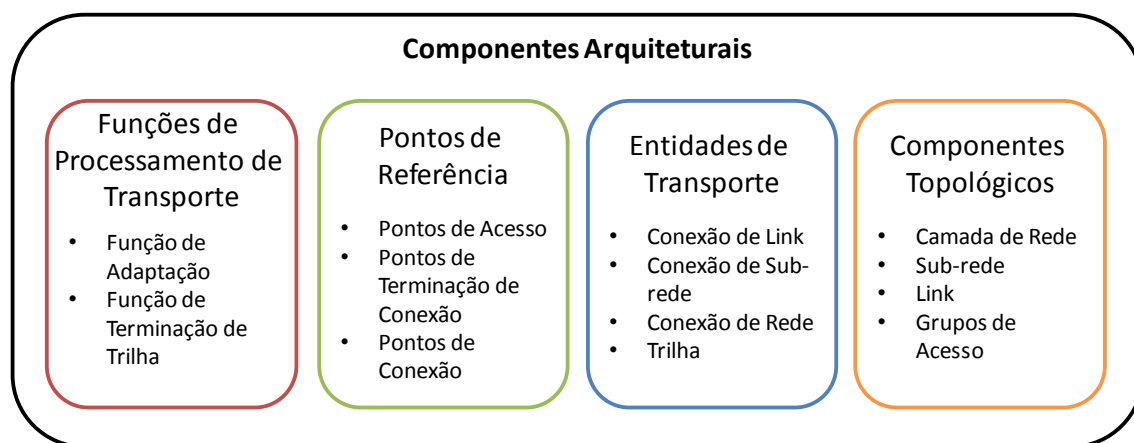


Figura 3-2 - Componentes Arquiteturais

3.1.2 Particionamento e Divisão em Camadas

Enquanto o conceito de particionamento define que cada camada de rede pode ser particionada separadamente de um modo que reflita a estrutura interna da rede ou do modo que esta será gerenciada, o conceito de divisão em camada define que

uma rede de transporte pode ser decomposta em um número de redes de transporte independentes com uma associação cliente/servidor entre camadas de rede adjacentes. Esses dois conceitos, o de particionamento e o de divisão em camadas, são ortogonais, como pode ser visualizado na Figura 3-3 a seguir.

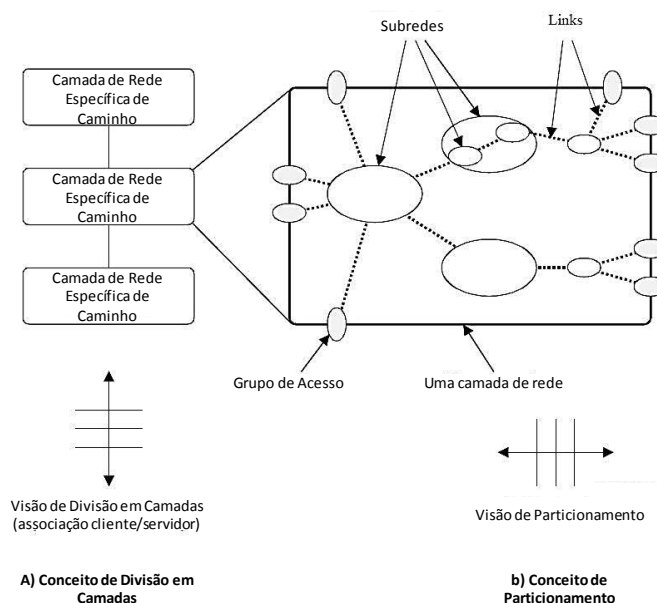


Figura 3-3 - Ortogonalidade dos conceitos de particionamento e divisão em camadas.
Traduzida de (ITU-T, 2000)

3.1.2.1 Aplicações do Conceito de Particionamento

O conceito do particionamento é importante por definir: a estrutura da rede dentro de uma camada, fronteiras administrativas entre operadores de rede, fronteiras de domínio dentro da camada de rede com um operador único, fronteiras do domínio de roteamento dentro da camada de rede de um único operador e a parte da camada de rede ou sub-rede que está sob o controle de um terceiro para propósitos de roteamento. São identificados e descritos os seguintes particionamentos de componentes topológicos: particionamento de sub-redes e particionamento de link.

3.1.2.2 Aplicações do Conceito de Divisão em Camadas

O conceito da divisão em camadas permite que: cada rede seja descrita usando-se funções similares; o projeto e as operações sejam independentes para cada camada de rede; cada uma delas possua suas próprias operações e capacidades de diagnóstico e recuperação automática de falhas; haja a possibilidade de adicionar ou modificar uma camada de rede sem afetar, de um ponto de vista arquitetural, outras camadas; se torne mais simples a modelagem de redes que contenham múltiplas tecnologias de transporte.

3.1.2.2.1 Relacionamentos Cliente/Servidor

O fluxo de informação entre as duas extremidades de uma rede (lados origem e destino) é realizado através de camadas adjacentes até que se chegue à camada mais baixa, chamada de camada de transmissão. Essas camadas adjacentes têm um relacionamento cliente/servidor onde uma camada de nível inferior (camada servidora) fornece os serviços de transporte para a camada de nível superior (camada cliente). Um exemplo da relação cliente/servidor ocorre entre as camadas *Optical Channel* (OCh) e *Optical Multiplex Section* (OMS) em redes ópticas de transporte (ITU-T, 2001).

O conceito de adaptação é introduzido para descrever como a informação característica da camada cliente é modificada para que possa ser transportada por uma trilha em uma camada de rede servidora.

Relacionamento cliente/servidor pode ser do tipo um para um, um para muitos ou muitos para um. Estes relacionamentos ocorrem, por exemplo, nos casos em que multiplexação ou multiplexação inversa (demultiplexação) ocorre em TTFs de camadas de rede.

3.2 ANÁLISE ARQUITETURAL DOS COMPONENTES

A recomendação G.805 apresenta seus componentes arquiteturais da forma mais genérica possível com o intuito de, como dito anteriormente, ser base para uma série de recomendações que tratam de tecnologias específicas para redes de transporte. Apesar de fornecer uma ferramenta ágil para a descrição da arquitetura, a apresentação de alguns conceitos é feita de forma confusa, com definições recursivas e exemplos não claros e que muitas vezes se contradizem. Isso torna mais difícil o entendimento e pode confundir o leitor. Para a maior parte dos componentes definidos não é deixado claro em que casos eles são usados, se são físicos ou lógicos e quais as possíveis ligações que podem realizar.

Uma análise ontológica detalhada da recomendação, com sugestões de eliminação de problemas encontrados é apresentada no capítulo 4 desta dissertação. As seções a seguir descrevem uma explicação mais ampla sobre como são estruturados os componentes arquiteturais e quais são suas possíveis ligações e suas interdependências.

3.2.1 Tipos dos Componentes Arquiteturais

Um primeiro conceito que deve ser esclarecido é em relação à utilização dos quatro tipos diferentes de componentes arquiteturais. Muitas dúvidas surgem ao se estudar de modo aprofundado a recomendação. Alguns exemplos são: funções de processamento de transporte podem ser ligadas a componentes topológicos? A definição da recomendação ITU-T G.805 diz que a conexão de link representa a relação fixa entre os fins de um link, porém, em quais casos cada um deve ser utilizado? Pontos de conexão são definidos por entradas e saídas de funções de processamento de transporte com entidades de transporte, mas, há uma conexão física entre eles?

Com o intuito de resolver este problema, a primeira distinção que deveria ser realizada na recomendação é quanto ao tipo e possibilidade de ocorrência dos componentes arquiteturais. Essa distinção é realizada a seguir.

3.2.1.1 Funções de Processamento de Transporte

Funções de Processamento de Transporte são componentes físicos reais existentes em uma rede de transporte. Uma rede de transporte é, em seu nível mais baixo (mais próximo ao *hardware*), implementada através da associação de componentes desse tipo. São componentes que só podem estar ligados a outros componentes do mesmo tipo, componentes físicos.

3.2.1.2 Pontos de Referência

Pontos de referência são componentes que referenciam uma conexão entre entradas e saídas de componentes físicos da rede. Esses não existem fisicamente, são criados apenas para identificar e referenciar conexões. Uma vez conectados dois componentes físicos da rede, é automaticamente gerado um ponto de referência.

3.2.1.3 Entidades de Transporte

Entidades de transporte são componentes lógicos, isto é, não físicos, que representam a capacidade de transmissão de informação, através das ligações de componentes físicos, pelas camadas inferiores da camada em que ele está.

A recomendação, em muitos casos, realiza ligação desses componentes com funções de processamento de transporte, o que confunde o leitor e o faz acreditar que essas entidades de transporte realmente têm uma entrada e saída física, enquanto, na verdade, não têm. As entidades de transporte relacionam pontos de referência de mesma camada (assim, é um equívoco também afirmar que pontos de referência são gerados pela ligação de funções de processamento de transporte com entidades de transporte).

3.2.1.4 Componentes Topológicos

Componentes topológicos são representações das funções de processamento de transporte e das entidades de transporte que existem dentro de uma única camada em uma forma diferente, a forma topológica. Essas apenas são relacionadas entre si, nunca entre componentes de outros tipos.

O conceito de Camada de Rede, um caso especial, definido como componente topológico pela recomendação, é tratado na seção a seguir.

3.2.2 Diferentes Visões: Visão Horizontal e Vertical

São definidos na recomendação os conceitos de particionamento e divisão em camadas, porém esses não ajudam a definir a arquitetura de componentes da recomendação. A falta de esclarecimento de quando deve utilizar cada tipo de componente arquitetural ou quando utilizar cada tipo de relação entre eles é um problema real da recomendação. O acréscimo de um conceito simples, o de diferentes visões de uma mesma rede poderia solucionar o problema da confusão gerada entre componentes topológicos e seus representantes físicos e lógicos. Esse conceito de visões é diferente dos conceitos de divisão em camadas e de particionamento.

A ideia é que essas visões sejam independentes. Enquanto a visão vertical (ou visão de transporte) englobaria todos os conceitos físicos (componentes físicos, do qual fazem parte as funções de processamento de transporte), de referência (os pontos de referência) e os lógicos (entidades de transporte), a visão horizontal (ou visão topológica) trataria dos componentes topológicos, uma diferente forma de representação de uma única camada. A Figura 3-4 a seguir ilustra as duas diferentes visões e os tipos de componentes arquiteturais que fazem parte de cada uma delas.

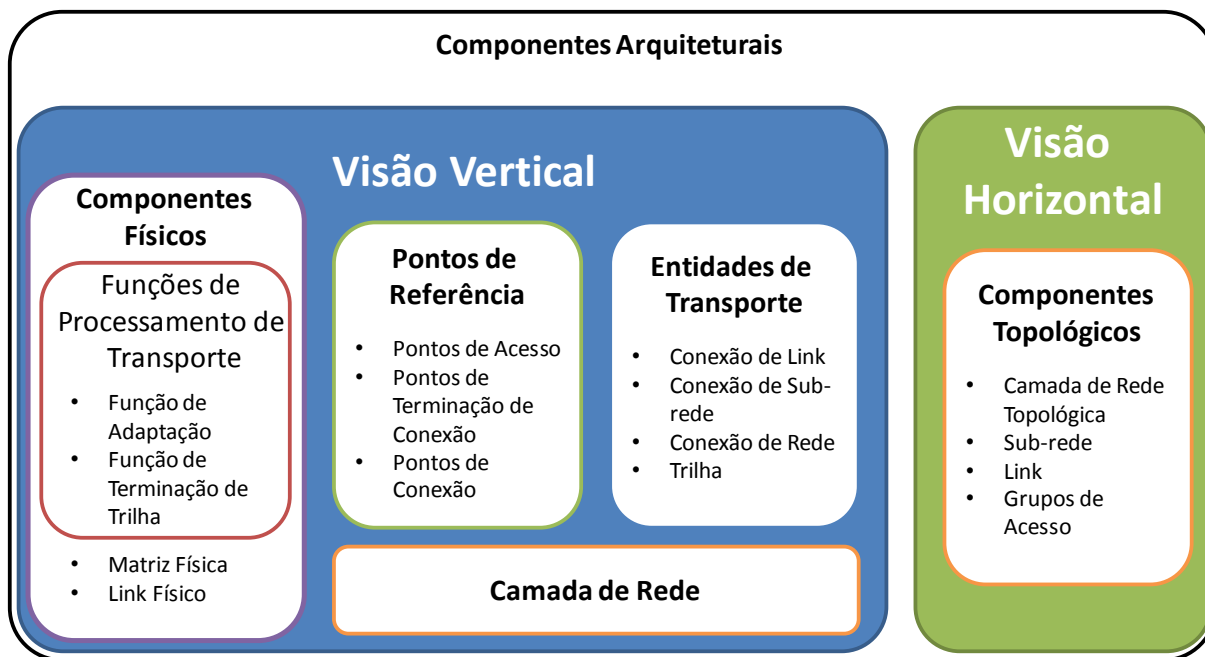


Figura 3-4 – Visão Vertical e Horizontal e seus tipos de componente

Nota-se pela Figura 3-4 que não há interseção entre as duas visões, isto é, nenhum conceito é representado em duas visões diferentes. Quando uma visão for utilizada, deve conter apenas conceitos dessa visão.

3.2.2.1 Particionamento x Visão Horizontal

Há diferença entre os conceitos de particionamento e de visão horizontal. O conceito de particionamento diz que é possível para uma dada camada de rede alterar o nível de abstração que se tem de sua topologia, agrupando ou desagrupando links e sub-redes a fim de que se tenha o nível de abstração desejado pelo usuário. Quanto maior o nível de detalhamento da estrutura de uma camada, mais se particiona seus componentes topológicos.

O conceito da visão horizontal, por sua vez, trata apenas dos possíveis tipos de componentes arquiteturais a serem utilizados na representação de uma rede de transporte. Nesse caso, o conceito de particionamento ocorreria dentro (isto é, utilizando os componentes) da visão horizontal (que também pode ser chamada de visão topológica) da rede.

3.2.2.2 O Conceito de Camada de Rede

Conforme as seções anteriores, a camada de rede, um conceito fundamental da recomendação, é definida como um componente topológico. Para estar em conformidade com a visão aqui defendida, sendo a camada um componente topológico, essa não pode ser representada na visão de transporte, ou seja, a camada de rede só poderia ser representada na visão topológica.

Contrariando o que foi dito, em muitos exemplos da recomendação essa representação de transporte de uma camada de rede existe e essa camada de rede “de transporte” é composta de TTFs, matrizes físicas e conexões de link, enquanto a representação topológica da camada de rede é composta de grupos de acesso, sub-redes e links.

Como pode ser visto, trata-se de dois diferentes componentes da arquitetura: as camadas de rede são parte da visão vertical (mas não são classificadas como componentes físicos, pontos de referência ou entidades de transporte), enquanto que o que é aqui denominado como camada de rede topológica é parte de uma visão horizontal e é classificada como um componente topológico. A camada de rede topológica não é nada mais do que uma representação da camada de rede (de transporte) na visão horizontal.

3.2.2.2.1 Composição de Camadas de Rede

Ressalta-se aqui que, excetuando-se a composição por TTFs, elementos cujo tipo define uma camada de rede, a composição de camadas (na visão de transporte) por matrizes físicas e conexões de link não são explicitamente afirmadas. É explicitamente afirmada apenas a composição das camadas de rede topológicas por links, sub-redes e grupos de acesso. Devido ao fato de haver uma relação de um para um entre os componentes da visão vertical e o da visão horizontal, é possível inferir a composição de camadas de rede topológicas pelos elementos da camada de rede de transporte.

É aqui considerado que uma camada é composta por ao menos dois TTFs relacionados entre si por uma ou mais conexões de link. Isto é, para haver uma camada, é necessário haver transferência de informação entre TTFs de mesmo tipo.

A modelagem simplificada da composição de camadas de rede é encontrada na Figura 3-5 a seguir. A modelagem completa e sua explicação podem ser encontradas na seção 5.4.10.

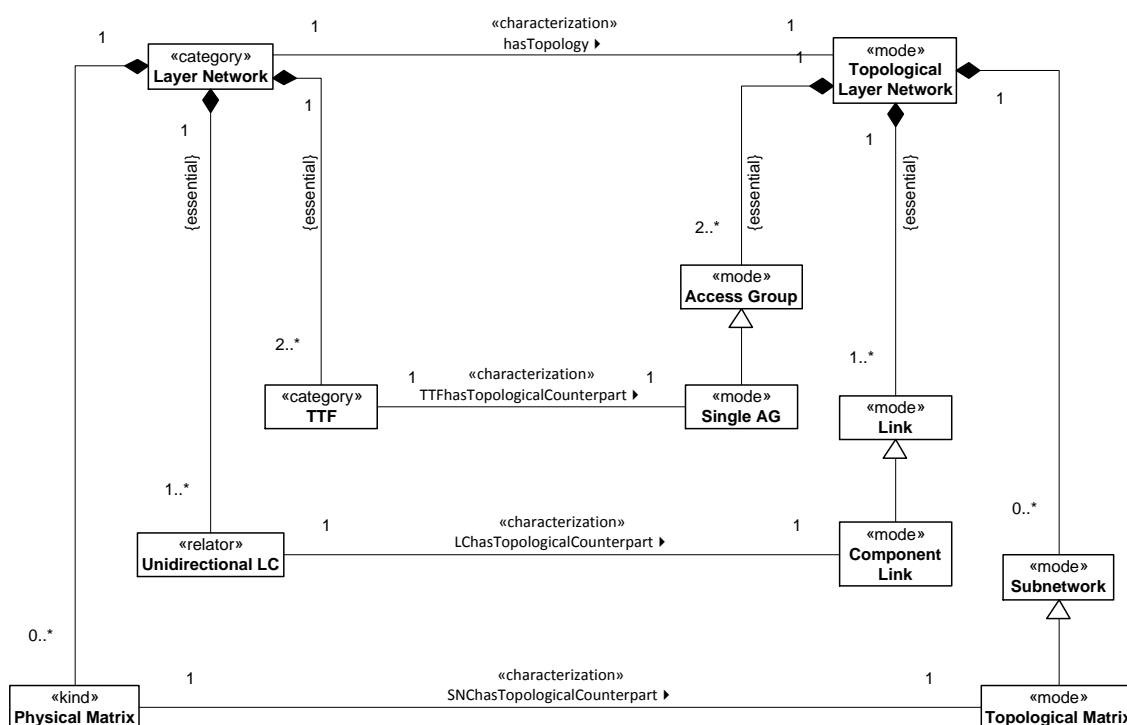


Figura 3-5 – Modelagem simplificada da composição de camadas de rede

3.2.3 Inferência de Conceitos

Conhecendo exatamente quais os reais papéis dos componentes arquiteturais definidos na recomendação, é possível, a partir do conhecimento de como estão estruturados os componentes físicos da rede, realizar a inferência de outros componentes a partir desses.

É utilizado o exemplo da rede da Figura 3-1 para mostrar como é possível a inferência de conceitos a partir das ligações físicas da rede. Essa rede também é

representada na Figura 4 da recomendação ITU-T G.805, reproduzida na Figura 3-6 a seguir.

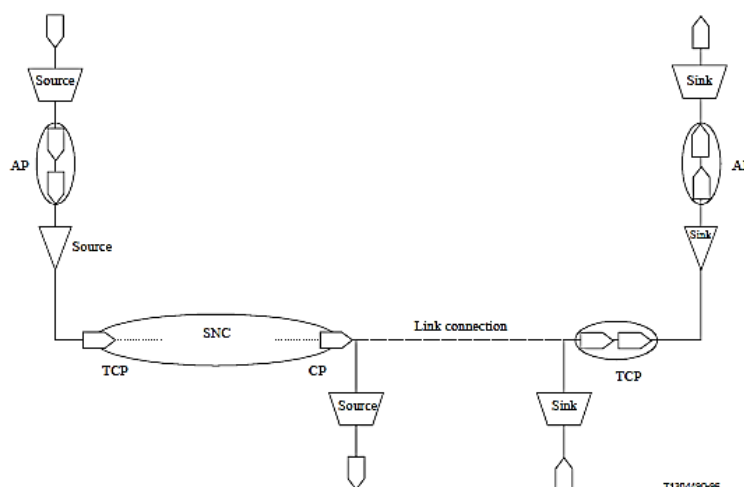


Figura 3-6 - Componentes da rede utilizada como exemplo (ITU-T, 2000)

O primeiro passo é a identificação de quais são os elementos físicos que compõem a rede. De início pode-se identificar as funções de processamento de transporte (TTFs e AFs), porém, além desses, há outro tipo de componente físico que não é representado na Figura 3-6 – a Matriz Física (PM). Essa, apesar de ser um componente físico, não é definida como tal pela recomendação, sendo definida como componente topológico. Um estudo aprofundado sobre matrizes físicas, topológicas e conexão de matrizes é realizado na seção 4.2.4.

3.2.3.1 Inferência de pontos de referência a partir dos componentes físicos da rede

Uma vez ligados os componentes físicos, automaticamente são conhecidos os pontos de referência gerados por essas ligações (um estudo sobre os pontos de referência é realizado na seção 4.2.5). A Figura 3-7 a seguir ilustra os componentes físicos e seus pontos de referência identificados para a área de interesse da Figura 3-1 (as reticências indicam continuação da rede tanto para as camadas mais altas quanto para as mais baixas).

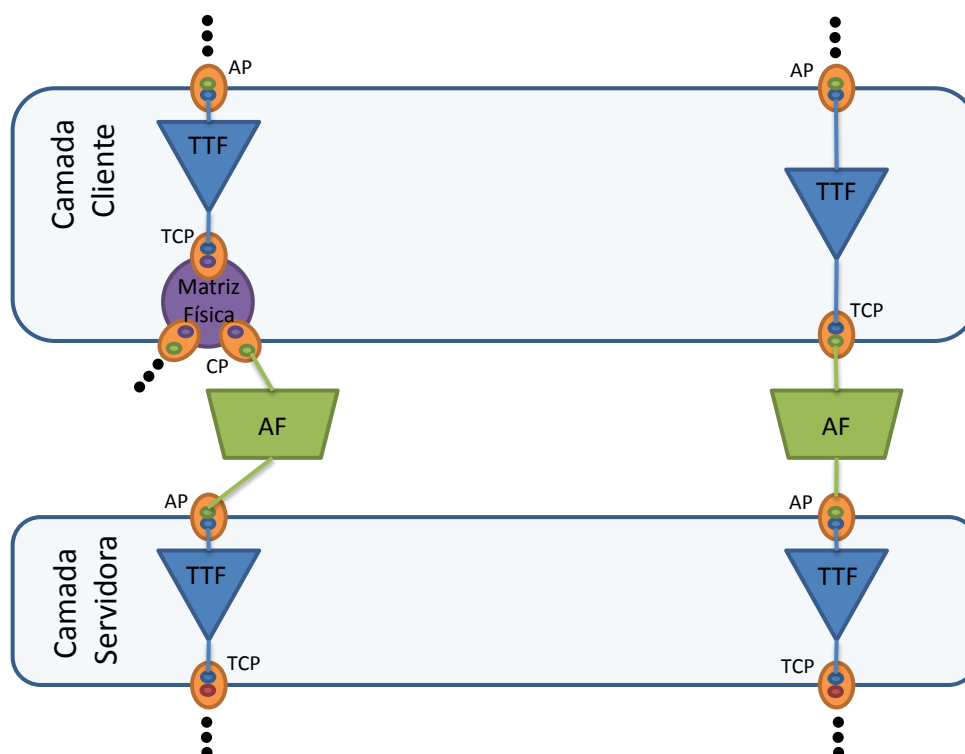


Figura 3-7 - Componentes Físicos e seus Pontos de Referência

3.2.3.2 Inferência de entidades de transporte a partir dos pontos de referência

Uma vez conhecidos os pontos de referência, é possível a inferência das entidades de transporte de uma dada rede. É tomada como exemplo a camada cliente da Figura 3-7.

Sabendo-se que a capacidade de transferência de informação entre um ponto de terminação de trilha (TCP ou *Termination Connection Point*) e um ponto de conexão (CP ou *Connection Point*) por uma matriz física resulta em uma conexão de sub-rede (SNC), e que a capacidade de transferência de informação entre um CP de origem e um TCP de destino (isto é, que representa a ligação física existente entre os dois lados da camada através das camadas inferiores) resulta em uma conexão de link (LC), essas duas entidades de transporte podem ser inferidas.

Assim, sabendo que há entidades de transporte que relacionam o TCP do lado origem até o TCP do lado destino da rede, indicando que há a transferência de informação por camadas mais baixas da rede por um caminho físico real, infere-se que existe uma conexão de rede (NC) entre esses dois TCPs e que essa conexão é

suportada pelas entidades de transporte que indicam a transferência de informação, neste caso, o SNC e o LC.

A Figura 3-8 a seguir ilustra as entidades de transporte inferidas para essa camada de rede.

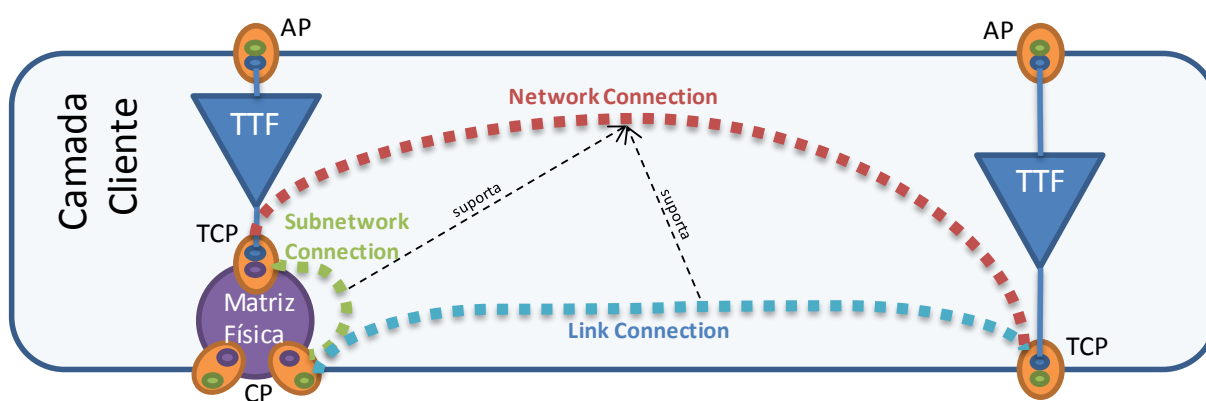


Figura 3-8 - Entidades de Transporte inferidas na camada cliente

3.2.3.3 Inferência de camadas de rede de transporte a partir das entidades de transporte

A própria camada de rede de transporte pode ser inferida a partir dos componentes físicos da rede, uma vez que foram também inferidos os pontos de referência e entidades de transporte. Sabendo que a camada é composta de ao menos dois TTFs que são relacionados por duas ou mais conexões de links, conhecidos os pontos de referência e as entidades de transporte, é possível saber onde começa e onde termina cada camada de uma dada rede.

Nas figuras anteriores optou-se por usar a representação gráfica da camada, como se essa já fosse conhecida, para fins de melhor visualização e entendimento do exemplo. Porém, as camadas representadas nessas figuras poderiam ser inferidas automaticamente a partir dos componentes físicos da rede e dos componentes já inferidos.

3.2.3.4 Inferência de componentes topológicos a partir das entidades de transporte

Conhecidos todos os componentes da visão vertical de uma dada camada, há uma transformação de um para um entre os elementos TTF, LC e PM para seus representantes topológicos (respectivamente, as unidades indivisíveis de: grupos de acesso, links e sub-redes).

Essa transformação sempre origina a topologia de uma camada de forma menos abstrata possível, isto é, a mais particionada. A partir de então, conforme o conceito de particionamento, o agrupamento de entidades é possível para representar as ligações topológicas da camada de rede de acordo com o grau de abstração que o usuário deseja.

Para o exemplo da Figura 3-8, a transformação de TTFs para grupos de acesso (AG ou *Access Groups*), da PM para sub-rede e do LC para link é apresentado na Figura 3-9 a seguir.

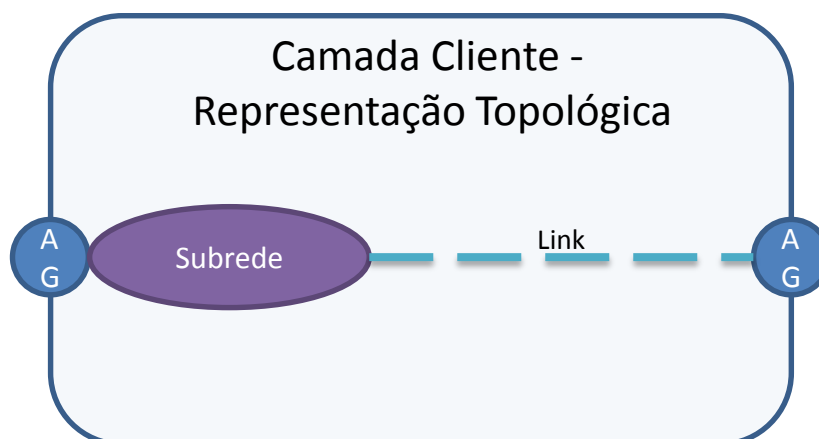


Figura 3-9 - Representação Topológica da Camada de Rede

A Figura 3-10 a seguir resume a possibilidade de inferência dos componentes arquiteturais de uma rede a partir do conhecimento dos componentes físicos.

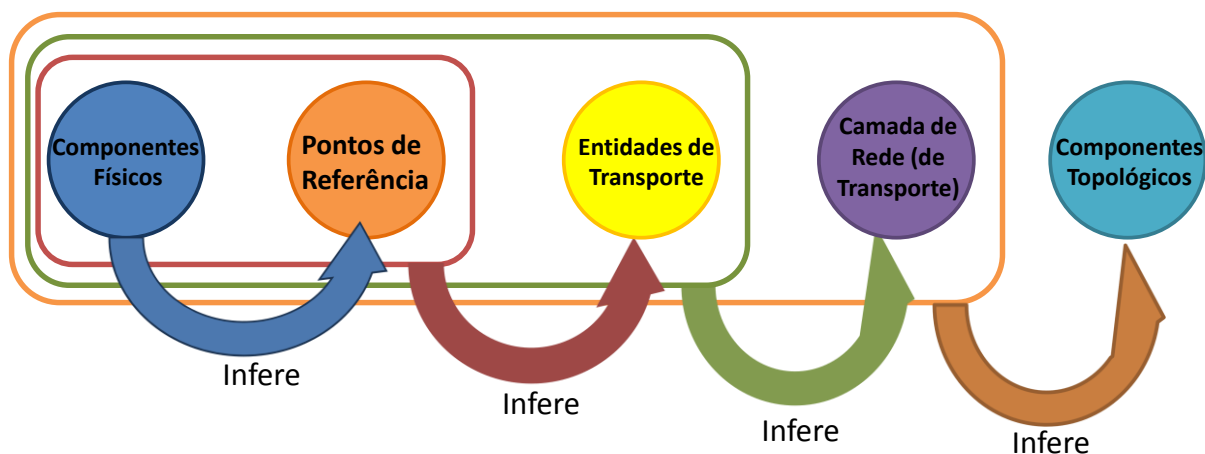


Figura 3-10 - Inferência dos Componentes Arquiteturais

3.3 CONCLUSÕES

É apresentada neste capítulo uma síntese da recomendação ITU-T G.805, importante recomendação que descreve de forma genérica a arquitetura de redes de transporte de forma independente de tecnologia, servindo assim como base para uma série de recomendações específicas de tecnologia.

São apresentados os principais conceitos para fins de estruturação da arquitetura genérica: os componentes arquiteturais e os conceitos de particionamento e divisão em camadas, incluindo o conceito de relacionamento cliente/servidor entre as camadas.

Devido ao fato de ser genérica o suficiente para contemplar todas as tecnologias de rede de transporte, a recomendação muitas vezes falha em sua definição de componentes e na sua estruturação, deixando lacunas e dando exemplos confusos, prejudicando o entendimento do usuário comum. São sugeridas formas de se estruturar a recomendação, através da apresentação dos tipos e das funções dos componentes arquiteturais, com a introdução do conceito de visões vertical e horizontal, e da inferência de componentes a partir do conhecimento da ligação física da rede. Acredita-se que a adoção dessas sugestões reduza o problema de complexidade da compreensão da recomendação, simplificando o aprendizado.

4 AVALIAÇÃO ONTOLÓGICA DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805

A Recomendação ITU-T G.805 é base para várias recomendações de tecnologias, de equipamentos e de gerência de redes de transporte. É importante que, devido sua fundamental importância, essa seja clara, completa e não ambígua, eliminando assim a propagação de problemas para as recomendações que a utilizam.

A existência de uma especificação formal na linguagem Z (WOODCOCK e DAVIES, 1996) no Apêndice I da recomendação ITU-T G.805, reitera a ideia de que, como base para tantas outras recomendações, ela deve ser isenta de problemas conceituais e assim garantir consistência quando especificações de tecnologias a utilizarem.

Este capítulo apresenta uma avaliação sistemática baseada em ontologias para a verificação das características mencionadas sobre a recomendação ITU-T G.805. A principal contribuição deste capítulo está relacionada com a solidez da recomendação, apresentando as deficiências conceituais encontradas, com a finalidade de alertar os usuários da mesma e, até mesmo, como subsídio aos órgãos de padronização. Para cada uma dessas deficiências é exibida uma proposta de modelagem que garanta a ausência desses problemas. A elaboração de um modelo conceitual baseado em ontologia da recomendação ITU-T G.805 (apresentado no capítulo 3 desta dissertação) fornece um modelo de referência para a área de redes de transporte.

Com o propósito de equalização de termos, para o restante deste capítulo é utilizado o termo **universo de discurso** (ou **domínio de conceituação**) para se referir a “uma entidade abstrata compartilhada por uma comunidade de usuários e que se destina a ser representada por um artefato de representação” (GUIZZARDI, 2005). Neste caso específico, o universo de discurso são as redes de transporte, mais especificamente sua arquitetura funcional genérica. **Especificação** é o termo aqui utilizado para se referir a representação do padrão oficial deste universo de discurso, neste caso, a Recomendação ITU-T G.805.

Finalmente, a Ontologia desenvolvida para este universo de discurso, de acordo com sua especificação, é chamada aqui de **modelo de referência**, conforme pode ser visto na Figura 4-1 a seguir, que resume esses conceitos.


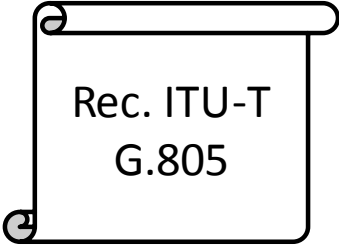
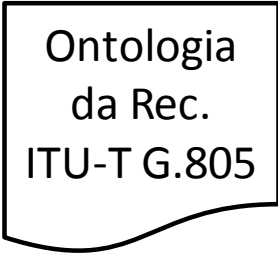
Universo de Discurso	Especificação de Domínio	Modelo de Referência
		

Figura 4-1 - Equalização de Termos

A seção 4.1 deste capítulo apresenta o *framework* de avaliação ontológica utilizada para análise da recomendação ITU-T G.805 em relação ao domínio de conceituação e do modelo de referência gerado. O resultado dessa análise é apresentado na seção 4.2. Por fim, a seção 4.3 apresenta as conclusões do capítulo.

Uma síntese do conteúdo deste capítulo foi publicada em (BARCELOS *et al.*, 2011).

4.1 FRAMEWORK DE AVALIAÇÃO ONTOLÓGICA

O *framework* de avaliação ontológica utilizado, proposto em (GUIZZARDI, 2005), utiliza um modelo conceitual do domínio, baseado em ontologias, como um modelo de referência para avaliação de um artefato de representação para o domínio. A ideia é que este modelo de referência seja uma representação canônica desse universo de discurso.

A lógica por trás desse *framework* é baseada em uma série de trabalhos teóricos e experimentais que demonstram que, quanto mais forte a correspondência entre um modelo de referência e um artefato de representação, mais fácil é a compreensão e o raciocínio com essa representação. O caso mais fácil é quando se tem uma

correspondência completa, ou seja, quando essas duas entidades são isomórficas (GUIZZARDI, 2005).

A implicação disso para um agente humano que interpreta a representação é que a sua interpretação se correlaciona de forma precisa e única com a abstração que está sendo representada. Em contrapartida, quando a correlação não é um isomorfismo, então, poderia haver, potencialmente, uma série de modelos diferentes (não intencionais) que seriam compatíveis com a interpretação.

O *framework*, assim, propõe um método sistemático para avaliar o nível de homomorfismo entre o modelo de referência e o artefato de representação. Para que este mapeamento seja isomórfico, existem quatro diferentes propriedades formais que essa correlação deve apresentar, a saber: lucidez, laconicidade, solidez e completude (GUIZZARDI, 2005). Quando essas propriedades estão ausentes em um mapeamento, quatro são os padrões diferentes de problemas que surgem. Estes são: **sobrecarga de construtores**, **excesso de construtores**, **redundância de construtores** e **incompletude**. Esses padrões de problemas são resumidos e ilustrados na Figura 4-2, e são discutidos a seguir.

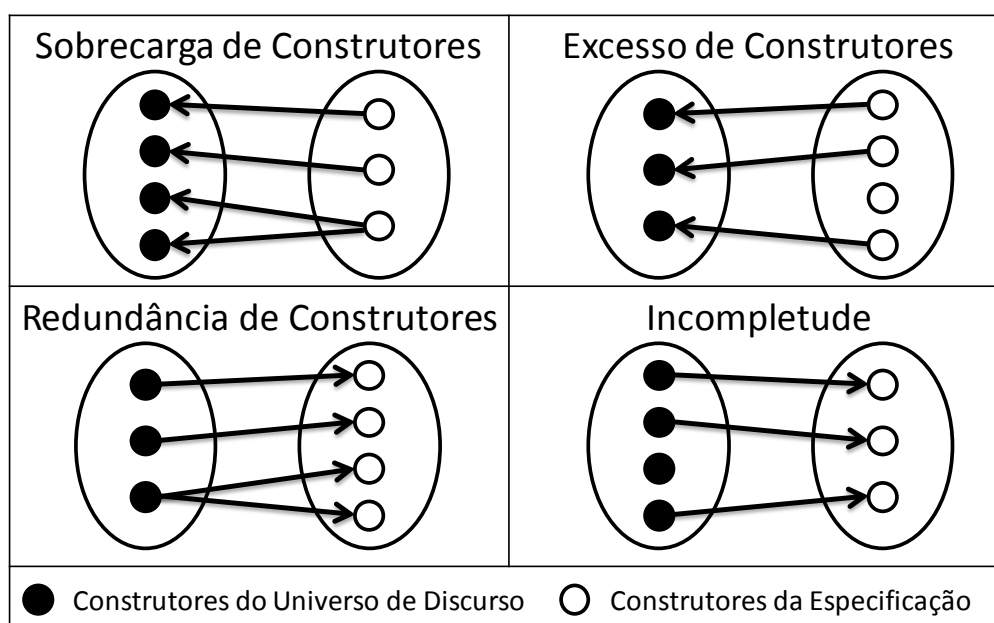


Figura 4-2 - Deficiências ontológicas em um mapeamento de um universo de discurso para uma especificação. Baseado em (FETTKE e LOOS, 2005)

Construtores (*constructs*) são *tokens* sintaticamente válidos de uma linguagem. Cada construtor representa um conceito. Na Figura 4-2 são vistos mapeamentos

(indicados por setas) entre construtores do universo de discurso (círculos preenchidos), à esquerda, de sua especificação (círculos vazios), à direita. A existência de uma seta entre círculos indica que há mapeamento entre esses construtores. Por exemplo, um mapeamento de um círculo cheio para um círculo vazio indica que na especificação há a representação de um conceito do domínio. A ausência de uma seta indica ausência de mapeamento. Duas setas partindo de um mesmo construtor, ou chegando a um mesmo construtor, indica duplo mapeamento.

4.1.1 Sobrecarga de Construtores

A sobrecarga de construtores ocorre quando um mapeamento (de interpretação), da representação para um modelo de referência, não é funcional (no sentido teórico), ou seja, quando um construtor na representação significa mais do que um conceito de domínio.

A sobrecarga de construtores é considerada uma propriedade indesejável em representações, uma vez que provoca ambiguidade e, por conseguinte, compromete a clareza. Quando existe uma sobrecarga de construtores, os usuários têm que trazer conhecimentos adicionais que não constam da representação para a compreensão do fenômeno que está sendo representado.

4.1.2 Excesso de Construtores

O excesso de construtores acontece quando um mapeamento (de interpretação), da representação para o modelo de referência, não é total (no sentido teórico), ou seja, quando há um construtor na representação que carece de interpretação em termos de um conceito de domínio.

Essa é uma propriedade indesejável por duas razões: em primeiro lugar, porque esses construtores em excesso aumentam a complexidade da representação sem aumentar a sua expressividade e, em segundo lugar, porque os usuários tendem a atribuir de qualquer modo uma interpretação para aquele construtor. No entanto, uma vez que essas interpretações não são contabilizadas no sistema de

representação em si, não há garantia de que a interpretação dada a um construtor por um leitor do modelo irá coincidir com uma intenção do criador daquele modelo (GUIZZARDI, 2005).

4.1.3 Redundância de Construtores

A redundância de construtores acontece quando um mapeamento (de representação), do modelo de referência para a representação, não é funcional, ou seja, quando um conceito de domínio é representado por mais de um artefato de representação.

A redundância de construtores é conhecida por comprometer a clareza da representação. Por um lado, ela também aumenta a complexidade da representação sem aumentar a sua expressividade. Por outro lado, os usuários tendem a atribuir diferentes interpretações (inconsistentes) para as diferentes representações (GUIZZARDI, 2005).

4.1.4 Incompletude

Por fim, a incompletude de construtores acontece quando um mapeamento (de representação), do modelo de referência para o artefato de representação, não é total. Em outras palavras, uma representação é dita ser completa se todo conceito em um domínio é coberto por pelo menos um construtor de modelagem da representação.

A completude no nível da linguagem é, talvez, a propriedade mais importante que deve manter em um sistema de representação. A incompletude de uma representação implica falta de expressividade, isto é, que existem fenômenos no domínio considerado (de acordo com uma conceituação de domínio) que não pode ser representado pela linguagem. Devido à importância dessa expressividade para se tratar sobre esse domínio, muitas vezes, os usuários da linguagem escolhem sobrecarregar um construtor já existente a fim de representar o conceito de domínio

em falta, implicando assim em uma sobrecarga de construtor, conseqüentemente, prejudicando a clareza (GUIZZARDI, 2005).

4.2 ANÁLISE E AVALIAÇÃO ONTOLÓGICA DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805

É utilizado nesta seção o *framework* apresentado na seção anterior para avaliar sistematicamente a qualidade da Recomendação ITU-T G.805 como uma representação do seu universo de discurso. Além de apontar uma série de deficiências ontológicas na especificação, são exibidos fragmentos do modelo de referência produzido para ilustrar as possíveis soluções para os problemas identificados. Esses fragmentos são retratados utilizando-se a linguagem de modelagem conceitual ontologicamente bem fundamentada conhecida como OntoUML (GUIZZARDI, 2005). OntoUML é uma extensão do padrão de linguagem de modelagem *Unified Modeling Language* (UML) (OBJECT MANAGEMENT GROUP, 2011) com a possibilidade de realizar distinções ontológicas entre seus tipos primitivos.

4.2.1 Fim da Recursão em Camadas de Rede e Distinção entre Link e Conexão de Link

A Recomendação ITU-T G.805 divide as camadas de rede em dois grupos distintos: as camadas de caminho (que são independentes de tecnologia) e as camadas de transmissão (que são dependentes de tecnologia).

Os dois tipos de camadas compartilham semelhanças (como, por exemplo, ambas serem definidas por tipos iguais de TTFs), bem como diferenças. Uma das características que as diferenciam é o fato de que, enquanto as camadas de caminho podem ser tanto clientes quanto servidoras para outras camadas, a camada de transporte não possui nenhuma camada servidora, ou seja, ela é sempre uma camada servidora, nunca uma camada cliente. Assim, as entidades de transporte de uma camada de transporte não são suportadas por trilhas de camada

inferior, mas sim por um link. A estrutura em camadas de uma rede pode ser observada na Figura 4-3 a seguir.

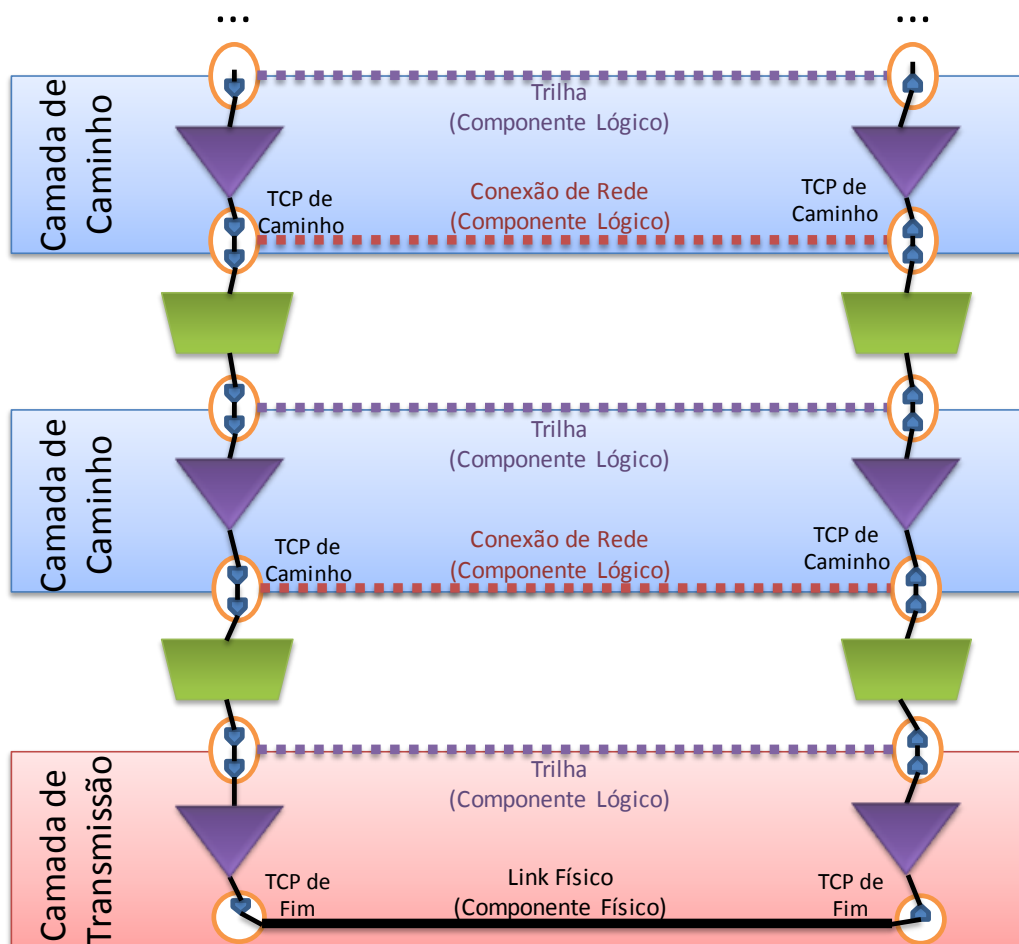


Figura 4-3 - Composição de camadas de caminho e de transmissão

Na recomendação ITU-T G.805, o conceito link é definido como um componente topológico. Como visto no capítulo anterior, componentes topológicos são conceitos abstratos para representar a topologia de uma camada de rede. Na verdade, o conceito de link topológico corresponde a visão topológica de uma conexão de link, que é uma conexão lógica de um ponto de vista de transporte. Uma modelagem simplificada dos componentes topológicos, onde se excetua as composições dos componentes topológicos, pode ser observada na Figura 4-4 a seguir (o submodelo completo dos componentes topológicos pode ser encontrado na seção 5.4.10).

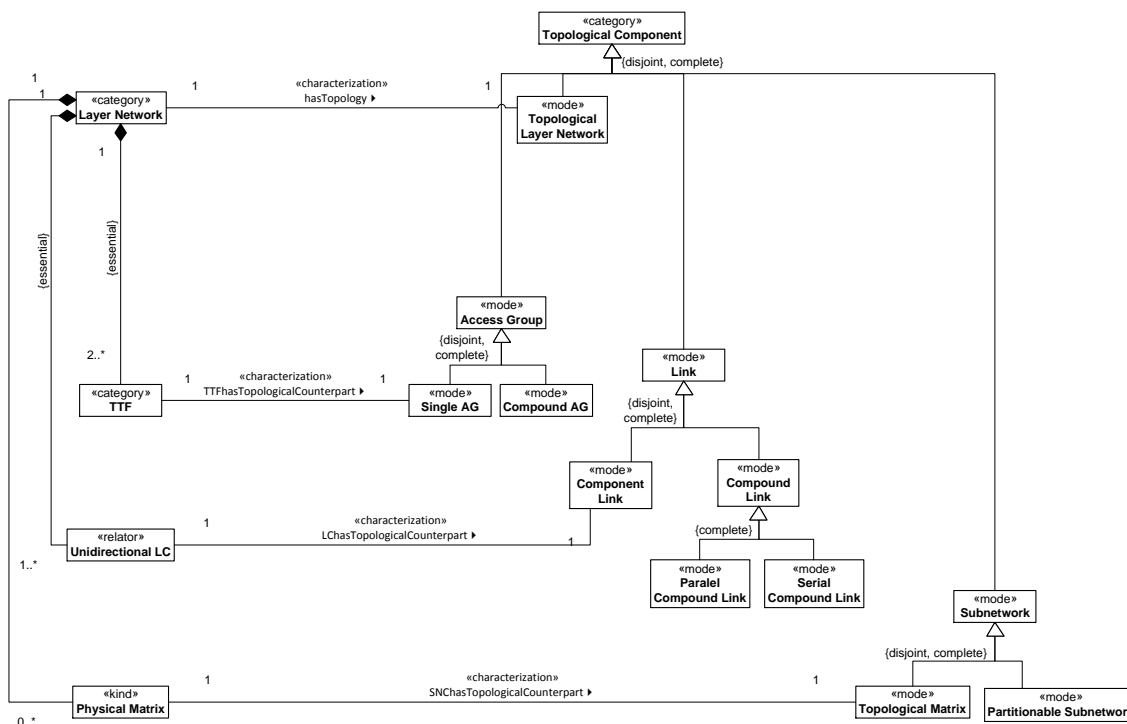


Figura 4-4 - Modelo conceitual simplificado dos componentes topológicos

Pode ser observado no modelo da Figura 4-4 que os componentes topológicos são dos seguintes tipos: camada de rede topológica, grupo de acesso, link e sub-rede. É importante ressaltar que, como dito na seção 3.2, conexões de link, matrizes físicas e TTFs têm um correspondente topológico. Ou seja, os componentes topológicos representam propriedades (qualidades, aspectos) dos componentes que constituem a rede de transporte. Uma vez que a correspondência entre esses dois pontos de vista (isto é, ponto de vista de transporte, ou vertical; e ponto de vista topológico, ou horizontal) é formalmente estabelecida, dependendo do nível de abstração exigido por um usuário, uma transformação automática entre os conceitos pode ser realizada.

Uma informação muito importante que é explicitamente representada no modelo da Figura 4-4 (mas que está completamente ausente na especificação ITU-T G.805) é o fato de que os componentes link e sub-rede são existencialmente dependentes (em seu tempo de vida) das entidades conexão de link e conexão de sub-rede, respectivamente. Isso é representado pela relação presente no modelo do tipo caracterização (*characterization*), que é uma relação de dependência de tempo de vida em OntoUML. Como exemplo, é possível dizer que um link (na verdade, um link componente) é um aspecto (uma qualificação topológica) de uma conexão de link e,

portanto, só pode existir se a conexão de link que ele qualifica existe. Uma vez que este aspecto semântico é identificado e devidamente representado no modelo de referência, ele pode ser preservado em todas as implementações e produtos derivados deste modelo.

Dependência de tempo de vida também é utilizada na construção do modelo de referência para identificar os diferentes status ontológicos das entidades representadas. Por exemplo, os tipos das entidades estereotipadas como <<*mode*>> e <<*relator*>> representam dois diferentes tipos de entidades com tempos de vida dependentes: o primeiro representa as propriedades intrínsecas ou aspectos de determinados indivíduos, e o segundo representa propriedades relacionais de ligação de múltiplos indivíduos. Em contraste, uma entidade estereotipada como <<*kind*>> representa um objeto, isto é, uma entidade existencialmente independente que pode existir por si mesma e de que outras entidades podem depender.

Contrastando a Figura 4-4 com a Figura 4-5 a seguir, se pode notar que o link existente na camada de transmissão (aqui denominado link físico) não pode ser considerado igual a outros links descritos na recomendação. Como os modelos deixam explícito, esses tipos de entidade pertencem a categorias ontológicas diferentes: enquanto o link (topológico) é uma característica intrínseca existencialmente dependente de um objeto (um *mode*), o link físico é um *kind*, persistente ao longo do tempo e com sua identidade própria e independente (GUIZZARDI, 2005). Enquanto o primeiro explicita uma representação de uma LC na visão topológica, o segundo é um componente físico da rede, onde, de fato, a transmissão de informações ocorre. Além disso, um link físico não pode ser inferido a partir da existência de uma LC (como os links topológicos) e não é parte da visão topológica da rede. Finalmente, na Figura 4-5, pode ser visto também que o link físico compõe apenas as camadas de transporte, isto é, ele não compõe as camadas de caminho.

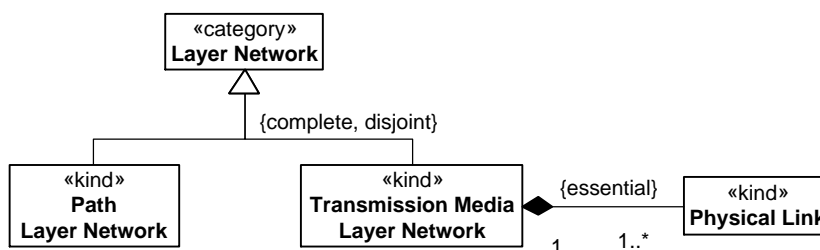


Figura 4-5 - Modelo representando a existência de um Link Físico

A falta do conceito do link físico na Recomendação ITU-T G.805 constitui um caso de incompletude em relação ao universo de discurso, ou seja, é o caso que cada conceito em do domínio subjacente não é coberto por pelo menos um conceito na especificação.

4.2.2 Incompletude no conceito de Camada de Rede

O problema com o conceito da camada de rede apontada na subseção 3.2.2.2 trata-se de um problema de incompletude da recomendação em relação a seu domínio subjacente. Como pode ser lá observado, a camada de rede é tratada como componente arquitetural, não havendo diferenciação entre este conceito e o conceito de camada de rede na visão de transporte.

A existência desses dois conceitos pode ser observada na Figura 4-4, onde a camada de rede “de transporte” é uma *category*, enquanto sua representação topológica, a camada de rede topológica, é um *mode*. A ausência do conceito para essa diferenciação indica incompletude da recomendação. Essa incompletude leva o usuário a utilizar o mesmo construtor camada de rede para as diferentes possibilidades, originando também o problema de sobrecarga de construtores.

4.2.3 Incompletude no conceito de Grupo de Acesso

A Recomendação ITU-T G.805 define um grupo de acesso (AG) como um conjunto de TTFs colocalizados. Essa definição impede a representação topológica de redes simples, onde não há a necessidade de agrupamento de TTFs semelhantes. A

ausência de um grupo de acesso individual, componente topológico que representa exatamente um TTF, pode ser considerada um caso de incompletude.

É utilizada na modelagem uma distinção entre tipos de grupos de acesso em AG individual e AG composto (que é composto por dois ou mais AG individuais). Essa modelagem dos grupos de acesso e de sua relação com TTFs pode ser encontrada na seção 5.4.10.

4.2.4 Matriz: Conceitos Físicos, de Transporte e Topológicos

4.2.4.1 Distinção entre Matriz Física e Matriz Topológica

O problema da definição da matriz na Recomendação ITU-T G.805 é basicamente o mesmo que ocorre com o problema do link/link físico. Matrizes são definidas pela recomendação como as partes indivisíveis de uma sub-rede, isto é, a matriz é uma sub-rede que não pode ser particionada.

Como visto no capítulo anterior, sub-redes são componentes topológicos da rede, existindo apenas na visão horizontal. Como subtipos, as matrizes herdam essas características, sendo também componentes topológicos, o que, na realidade, não é totalmente verdade.

Matrizes são, no domínio de redes de transporte, um componente físico da rede. Exemplos de implementações físicas de matrizes podem ser encontrados em algumas recomendações que tratam de tecnologias específicas de redes de transporte, como, por exemplo, a recomendação ITU-T G.798 (Características da hierarquia de blocos funcionais de equipamentos de redes ópticas de transporte) (ITU-T, 2010), em sua página 107.

É utilizado mais uma vez o exemplo da representação visual do trecho de uma rede existente na recomendação ITU-T G.805 e ilustrada na Figura 4-6 a seguir.

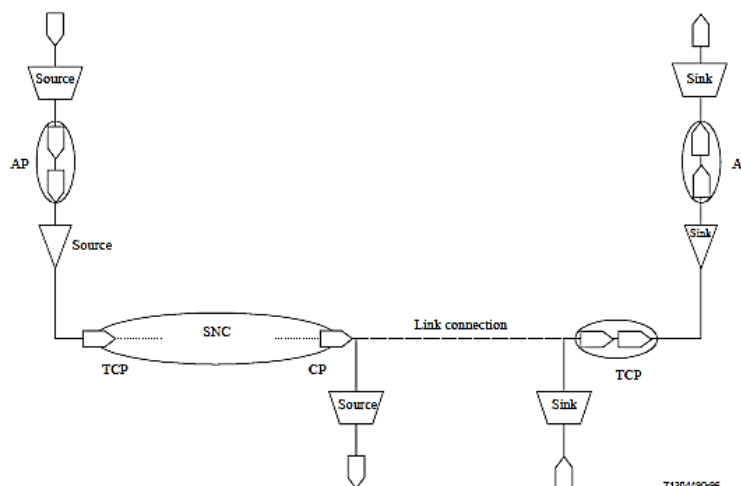


Figura 4-6 - Exemplo de representação do trecho de uma rede pela recomendação ITU-T G.805 (ITU-T, 2000)

Como tratado na seção 3.2.3, essa representação visual esconde o componente físico matriz que existe entre a saída do TTF do tipo origem e entrada do AF do tipo origem da Figura 4-6, preferindo representar apenas a capacidade de transferência de informação que ocorre dentro da matriz, o SNC.

Uma representação dos componentes físicos existentes, bem como das entidades de transporte inferidas das ligações desses é encontrada na Figura 4-7 a seguir.

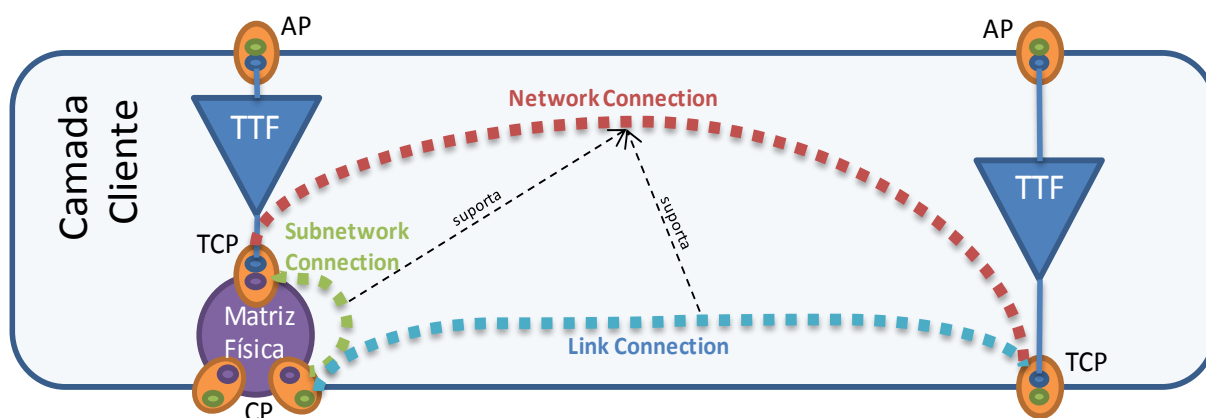


Figura 4-7 - Entidades de Transporte inferidas na camada cliente

O que a recomendação ITU-T G.805 define como matriz é, na verdade, a representação topológica da matriz física. Enquanto o componente físico matriz é chamado nesta dissertação de matriz física ou simplesmente de matriz, sua

representação topológica é chamada de matriz topológica, e sua modelagem pode ser encontrada na Figura 4-4 da seção anterior.

A modelagem da matriz física, por sua vez, faz parte dos submodelos função de processamento de transporte (TPF ou *Transport Processing Function*) origem e TPF destino apresentados no capítulo 5, e é apresentada (para o lado origem) na Figura 4-8 a seguir.

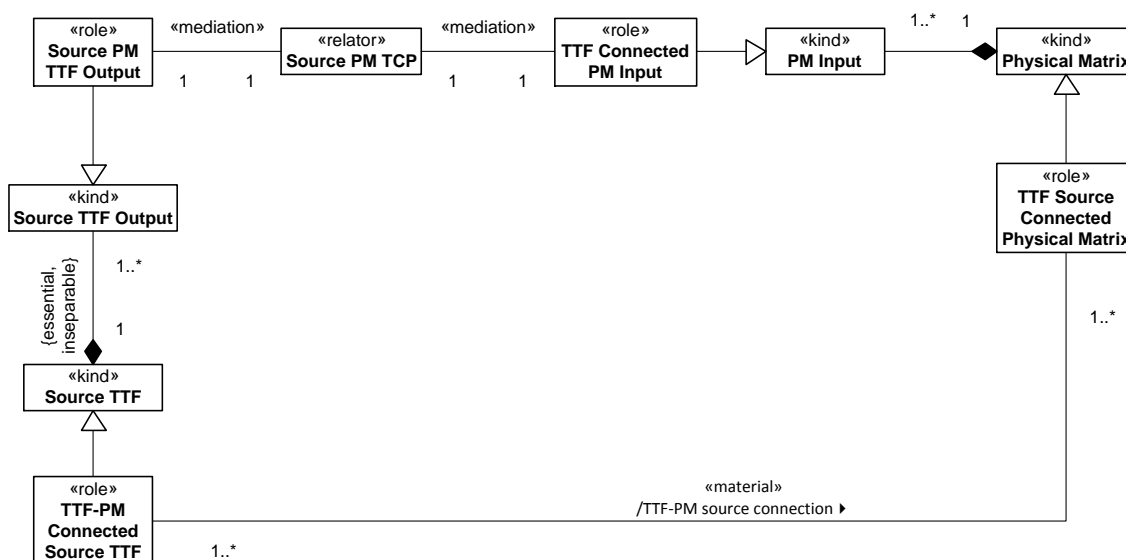


Figura 4-8 - Modelo conceitual da matriz física

Como pode ser visto, os dois conceitos de matriz existentes (físico e topológico) são de qualificações ontológicas diferentes. Enquanto a matriz física é do tipo *kind*, a matriz topológica é do tipo *mode*. Sendo assim, esses conceitos são incompatíveis, não podendo ser representados com apenas um construtor, como a recomendação ITU-T G.805 faz.

Assim, devido ao fato da incompletude da recomendação ITU-T G.805, pela não existência de um construtor para a matriz física, o usuário da recomendação ITU-T G.805 é forçado a sobrecarregar o conceito “matriz” existente para representar dois conceitos diferentes e incompatíveis.

4.2.4.2 Redundância de construtores nas definições de Conexão de Matriz e Conexão de Sub-rede

Outra conclusão obtida dos estudos da Recomendação ITU-T G.805 é que os conceitos de conexão de matriz e de conexão de sub-rede são equivalentes, isto é, não existem casos em que esses diferem entre si.

Enquanto, segundo definições da recomendação, a conexão de matriz “é uma entidade de transporte que transfere informação por uma matriz”, uma conexão de sub-rede “é uma entidade de transporte que transfere informação por uma sub-rede”.

Conforme visto no capítulo anterior, entidades de transporte transferem informação entre pontos de referência que referenciam ligações entre componentes físicos de uma rede. Assim, não é possível que conexões de matrizes ou de sub-redes ocorram entre conceitos topológicos de uma rede.

Uma sub-rede é um agregado de links e outras sub-redes para uma abstração por parte do usuário de uma topologia de uma rede. Uma matriz topológica é a menor sub-rede possível, a sub-rede indivisível. Analisando o modelo criado (ver Figura 4-4), verifica-se que sub-redes não são diretamente inferidas de componentes da visão de transporte, sendo inferidas diretamente apenas matrizes. O elemento que possui como representação topológica a matriz topológica é a matriz física.

Assim, tanto conexões de sub-rede quanto conexões de matrizes são entidades de transporte que representam a transferência de informação por uma matriz física.

Como neste caso existem dois construtores para o mesmo conceito, este é um claro caso de redundância de construtores, aumentando a complexidade do modelo de referência sem acrescentar novas informações, prejudicando a clareza do modelo.

Optou-se aqui por utilizar no modelo de referência criado apenas o construtor conexão de sub-rede, visto que este é mais abrangente que conexão de matriz, uma vez que matrizes topológicas são subtipos de sub-redes.

4.2.5 Pontos de Referência

Pontos de referência (RP ou *Reference Point*) são definidos na Recomendação ITU-T G.805 do seguinte modo (em tradução livre):

“Os pontos de referência são formados pela ligação entre entradas e saídas das funções de processamento de transporte e/ou de entidades de transporte. As ligações permitidas e os tipos específicos resultantes de pontos de referência são apresentados na Tabela 1.” (ITU-T, 2000)

A primeira frase dessa definição indica que pontos de referência são formados pela ligação entre as entradas e saídas das funções de processamento de transporte (TPF) e/ou de entidades de transporte. No entanto, uma vez que entidades de transporte não definem as conexões físicas da rede, mas representam a capacidade de transferência de informações por elas, é incorreto afirmar que a ligação de entradas ou saídas de entidades de transporte com TPFs resulta em um RP. Na verdade, RPs são criados pelas ligações que ocorrem entre os componentes físicos da rede, como, por exemplo, os TPFs.

Uma vez que RPs existem pela conexão de entradas e saídas de componentes físicos, o início e o fim das entidades de transporte podem ser definidos a partir dos RPs, e não o contrário, como descreve a recomendação. A validade desta conclusão pode ser defendida tomando-se como exemplo a definição de entidades de transporte pela recomendação, que segue (em tradução livre):

“As entidades de transporte provêm transferência de informação transparente entre pontos de referência da camada de rede.” (ITU-T, 2000)

A segunda frase da definição dos pontos de referência pela recomendação diz que as ligações possíveis e os pontos de referência resultantes são encontrados em uma tabela da recomendação, reproduzida parcialmente na Tabela 4-1 a seguir.

Tabela 4-1 - Possíveis ligações entre TPFs e Entidades de Transporte e os RP resultantes segundo a Recomendação ITU-T G.805. Baseado em (ITU-T, 2000)

Componentes Arquiteturais		Pontos de Referência
AF	TTF	AP
TTF	LC	TCP
TTF	SNC	TCP
LC	SNC	CP
LC	LC	CP
AF	AF	CP
AF: Função de Adaptação TTF: Função de Terminação de Trilha LC: Conexão de Link		SNC: Conexão de Sub-rede AP: Ponto de Acesso TCP: Ponto de Terminação de Conexão CP: Ponto de Conexão

Como dito anteriormente, a tabela mostra a criação de pontos de referência a partir de ligações entre TPFs e entidades de transporte. A posição aqui defendida é que RPs ocorrem da ligação entre componentes físicos da rede, o que claramente contradiz a Tabela 4-1. Na sequência, para fins de avaliação, primeiro é tomado como exemplo o caso dos pontos de terminação de conexão (TCPs) e, posteriormente, o caso dos pontos de conexão (CPs).

4.2.5.1 Sobrecarga de Construtores na Definição de TCP

Segundo a Tabela 4-1, TCPs são definidos como o resultado da ligação entre funções de terminações de trilha (TTFs) e conexões de link (LCs) ou conexões de sub-rede (SNCs). Esses LCs e SNCs são componentes lógicos da rede, inferidos a partir dos RPs, em uma clara inversão de definições – RPs são definidos a partir de entidades de transporte que são definidos por RPs.

É sugerido nesta dissertação que TCPs sejam criados das ligações de componentes físicos da rede. Para o caso das camadas de caminho, eles ocorrem entre saídas de TTFs origem e entradas de AFs origem (ou saídas de AFs destino e entradas de TTFs destino) e são chamados de *TCPs de caminho*. Para o caso das camadas de

transmissão, onde os TTFs não ligam AFs e sim Links Físicos, os TCPs são do tipo específico *TCPs de fim* e ligam (1) saídas de TTFs origem a entradas de Links Físicos ou (2) entradas de TTFs destino a saídas de Links Físicos. Para o caso em que há uma ligação entre um TTF e uma Matriz Física, os TCPs gerados são do tipo *PM TCP*.

Uma versão atualizada das possíveis ligações e dos pontos de referência resultantes de acordo com a ideia defendida nesta dissertação pode ser encontrada na Tabela 4-2 a seguir. Nela, RPs são formados das ligações entre componentes físicos, e não de componentes físicos com componentes de transporte.

Tabela 4-2 - RPs resultantes de ligações entre componentes físicos da rede

Componentes Físicos		Pontos de Referência
AF	TTF	AP
TTF	AF	TCP de Caminho
TTF	Link Físico	TCP de Fim
TTF	Matriz Física	PM TCP
AF	AF	AF CP
AF	Matriz Física	PM CP
AF: Função de Adaptação TTF: Função de Terminação de Trilha LC: Conexão de Link PM: Matriz Física		SNC: Conexão de Sub-rede AP: Ponto de Acesso TCP: Ponto de Terminação de Conexão CP: Ponto de Conexão

Usando o *framework* de avaliação ontológico, pode-se mostrar um caso de sobrecarga de construtores na definição de TCP: a recomendação (Tabela 4-1) define TCP como um conceito único quando, na verdade, ele representa três conceitos diferentes (TCP de caminho, TCP de fim e TCP do tipo PM TCP), como pode ser visto na Tabela 4-2.

A Figura 4-9 (parte do submodelo TPF Origem, apresentado na seção 5.4.7) ilustra os três diferentes tipos de TCP para uma rede do tipo origem. Nesta figura, pode-se observar que tanto o TCP de caminho quanto o TCP de fim e o TCP do tipo PM TCP são exemplos de *relators* (entidades que são existencialmente dependentes de várias entidades as quais ela conecta) (GUIZZARDI, 2005). Este é o caso, uma vez

que eles indiretamente mediam, respectivamente, os relacionamentos *TTF-AF source connection*, *TTF-End source connection* e *TTF-PM source connection*.

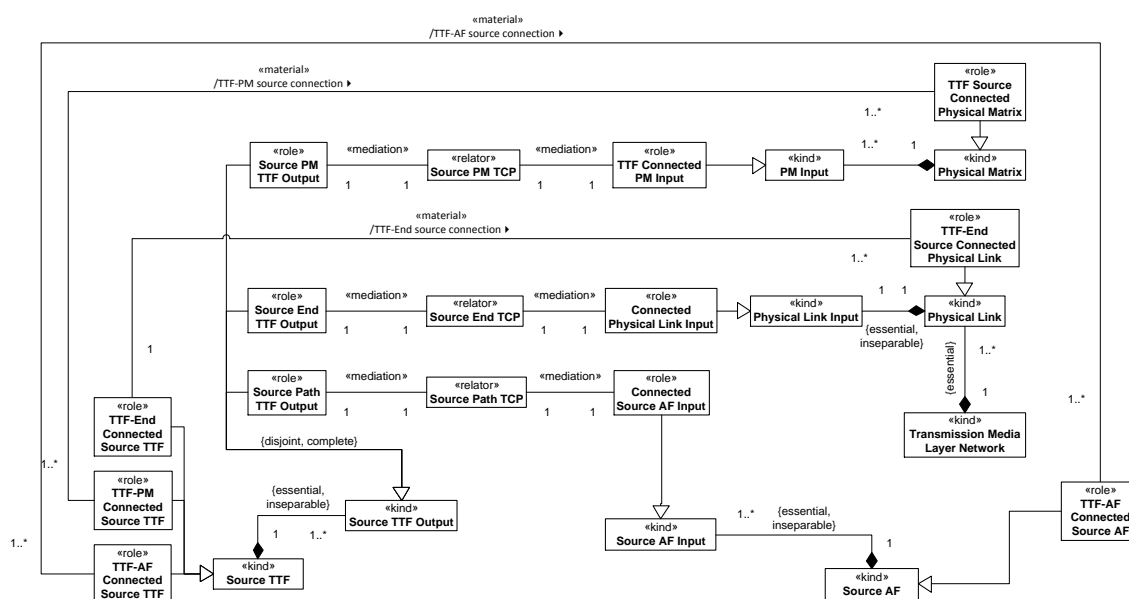


Figura 4-9 – Diferentes tipos de TCPs relacionando diferentes tipos de componentes físicos

4.2.5.2 Excesso de Construtores na Definição de CP

O caso dos CPs é mais complexo. Segundo a recomendação, como visto na Tabela 4-1, um CP é criado por três ligações distintas: 1) AF com AF, 2) LC com SNC, ou 3) LC com LC. Essa afirmação está em discordância com a posição aqui defendida, a saber, que RPs são criados por associações de componentes físicos (SNCs e LCs são a representação de transporte de informação entre componentes físicos, como mencionado anteriormente).

Fisicamente um CP representa a ligação de uma saída AF de destino com uma entrada AF de origem (originando um CP do tipo AF CP, representada pela última linha da Tabela 4-1) ou a ligação entre uma saída ou entrada de AF com uma matriz física (originando um CP do tipo PM CP, caso não existente na Tabela 4-1, mas representado na última linha da Tabela 4-2). Porém, muitos exemplos visuais incluídos na recomendação não são claros sobre a formação dos CPs, permitindo múltiplas interpretações do usuário, como pode ser observado na Figura 4-10.

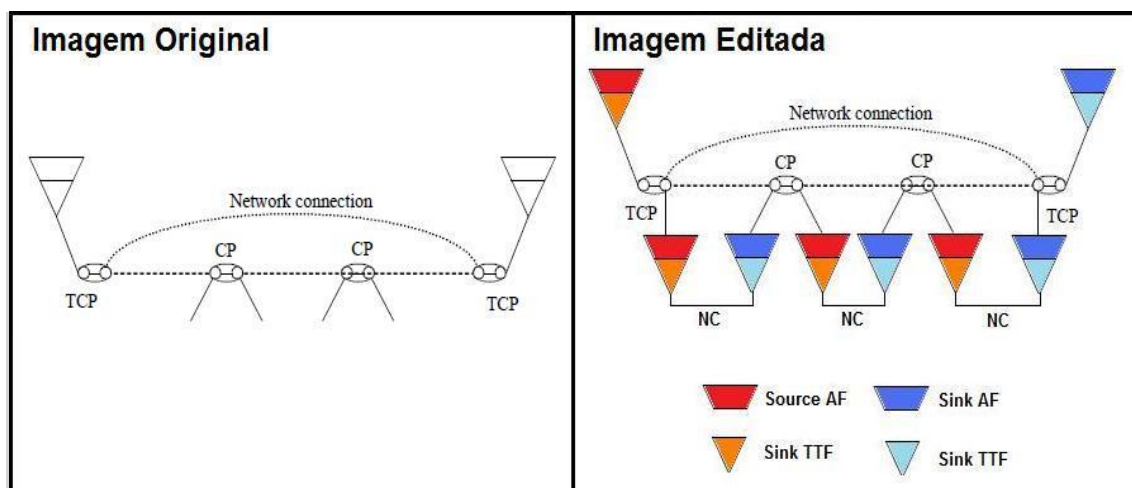


Figura 4-10 - Existência e localização de CPs

A parte esquerda da figura mostra um trecho de rede representado em um exemplo visual da própria recomendação, na qual a existência de CPs é exemplificada. Porém, neste exemplo, não é possível determinar quais as ligações originam os CPs. Pior ainda, a imagem transmite a impressão de que CPs são criados pela ligação de dois LCs, o que, na verdade, não ocorre. A parte a direita da Figura 4-10, resultado desta dissertação, apresenta a mesma rede com maior detalhamento, identificando vínculos físicos onde se originam os CPs. As ligações estão em plena conformidade com a Tabela 4-2.

Uma observação importante a ser feita aqui é que, na Recomendação ITU-T G.805, o conceito CP utiliza um único construtor, definido de três formas diferentes, mas na verdade se refere a duas entidades diferentes. À primeira vista, isso parece constituir um caso de redundância de construtores (três definições/representações de dois conceitos do domínio). No entanto, após uma análise mais cuidadosa torna-se claro que as duas configurações adicionais para um CP (representado pelas linhas 4 e 5 da Tabela 4-1) não podem ocorrer na realidade. Assim, essas duas representações não têm uma interpretação em termos de um conceito de domínio, ou seja, o que ocorre na definição dos CPs é um caso de excesso de construtores, além de um caso de incompletude.

A parte do modelo de referência que trata sobre as conexões que originam os CPs pode ser encontrada na seção 5.4.9.

4.3 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta a aplicação de um *framework* baseado em ontologias para avaliar sistematicamente um número de propriedades de um artefato de representação do domínio. Em particular, ele usa um modelo de referência ontologicamente bem fundamentado que representa de forma canônica o domínio subjacente a Recomendação ITU-T G.805 (ou seja, o domínio das redes de transporte) para avaliar a atual especificação da norma.

Como demonstrado pelo estudo de caso aqui relatado, o uso de tecnologias baseadas em ontologia, como uma modelagem ontológica de um domínio conceitual subjacente a uma especificação, bem como um *framework* de avaliação baseado em ontologia, podem contribuir significativamente para identificar deficiências nesta especificação. No caso apresentado aqui, usando essas tecnologias, é possível ilustrar, bem como fornecer soluções, para problemas encontrados na Recomendação ITU-T G.805 de incompletude, redundância, e excesso e sobrecarga de construtores.

Uma vez que essa recomendação é a base para muitas outras na área de redes de transportes, é essencial que esses problemas sejam identificados e corrigidos, de modo que sua propagação para outras recomendações (bem como para produtos derivados da recomendação) possam ser evitados.

5 ONTOLOGIA DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805

Este capítulo apresenta o modelo conceitual em ontologia desenvolvido para a recomendação ITU-T G. 805. Estão contidas as descrições dos submodelos existentes e das regras de restrição e derivação do modelo. Em relação às regras lógicas, devido ao grande número de regras no modelo, apenas algumas são apresentadas completamente. Isso se deve ao fato do tamanho excessivo que a dissertação tomaria. Dessa forma, optou-se por utilizar outros meios de publicação para documentar completamente as regras do modelo.

A seção 5.1 apresenta algumas considerações a respeito do modelo desenvolvido, que possui seu escopo definido na seção 5.2. A seção 5.3 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento. A seção 5.4 descreve a ontologia desenvolvida para a Recomendação ITU-T G.805 dividida em submodelos para fim de um melhor entendimento e visualização. A seção 5.5 apresenta exemplos de regras de restrição e de derivação para a ontologia aqui apresentada. Por fim, a seção 5.6 apresenta as conclusões do capítulo.

5.1 CONSIDERAÇÕES

Uma versão inicial do modelo conceitual em ontologia da Recomendação ITU-T G.805 foi apresentada no artigo “*Ontology based model for the ITU-T Recommendation G.805: Towards the self-management of transport networks*” (MONTEIRO *et al.*, 2010) (em português: “Um modelo baseado em ontologia para a recomendação ITU-T G.805: Rumo ao autogerenciamento de redes de transporte”). Além da descrição da modelagem conceitual, também são descritos os principais conceitos da recomendação ITU-T G.805 e as tecnologias utilizadas para a modelagem e implementação do modelo. Utilizando-se a linguagem de implementação de ontologias OWL (*Web Ontology Language*) (SMITH, WELTY e MCGUINNESS, 2004) é criada uma implementação para o modelo e desenvolvido um estudo de caso para redes ópticas de transporte, onde as inferências obtidas são exibidas.

O modelo aqui apresentado é mais completo, englobando todos os aspectos apresentados na seção 5.2. Este modelo representa: a arquitetura de redes de transporte, a existência, a taxonomia, a estrutura e a composição dos componentes e seus relacionamentos.

Uma vez que se queira construir aplicações baseadas nesses modelos, sugere-se a criação de extensões que englobem aspectos mais específicos para tais aplicações. Por exemplo, no presente modelo não é representada a possibilidade de existirem elementos defeituosos ou não funcionais, caso essa possibilidade seja de interesse para determinada aplicação, deve-se criar um submodelo que represente tal comportamento ou características. A modelagem aqui realizada é independente de tecnologia de implementação. A escolha de linguagens e ferramentas para implementação do modelo é uma questão de projeto, como explicado na seção 2.1.

5.2 ESCOPO

O capítulo 5 da recomendação ITU-T G.805 apresenta um modelo funcional e estrutural para arquiteturas de redes de transporte em geral, independente de tecnologia. Os capítulos dessa recomendação estão estruturados conforme pode ser visto na Figura 5-1 a seguir. Além dos capítulos de definição de escopo (capítulo 1), referências (capítulo 2), definição de termos (capítulo 3) e abreviações (capítulo 4), a recomendação ITU-T G.805 também apresenta exemplos de aplicações dos conceitos definidos no capítulo 5 às estruturas e topologias de rede (capítulo 6) e técnicas de melhoria de disponibilidade de redes de transporte em seu último capítulo (capítulo 7).

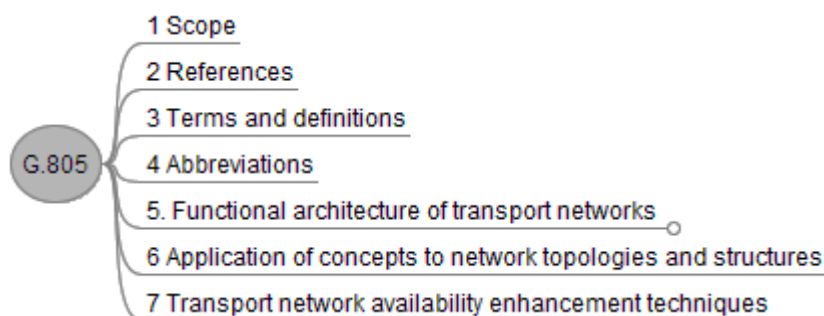


Figura 5-1 - Estrutura de Capítulos da Recomendação ITU-T G.805

O foco do trabalho aqui desenvolvido é o capítulo 5 da recomendação ITU-T G.805, cuja estruturação pode ser encontrada na Figura 5-2 a seguir. A ontologia desenvolvida nesta dissertação visa contemplar todos os componentes arquiteturais descritos na recomendação, bem como seu comportamento e possíveis ligações. Para isso, optou-se por modelar as seções 5.2 e 5.3, Componentes Arquiteturais, e Particionamento e Divisão em Camadas, respectivamente.

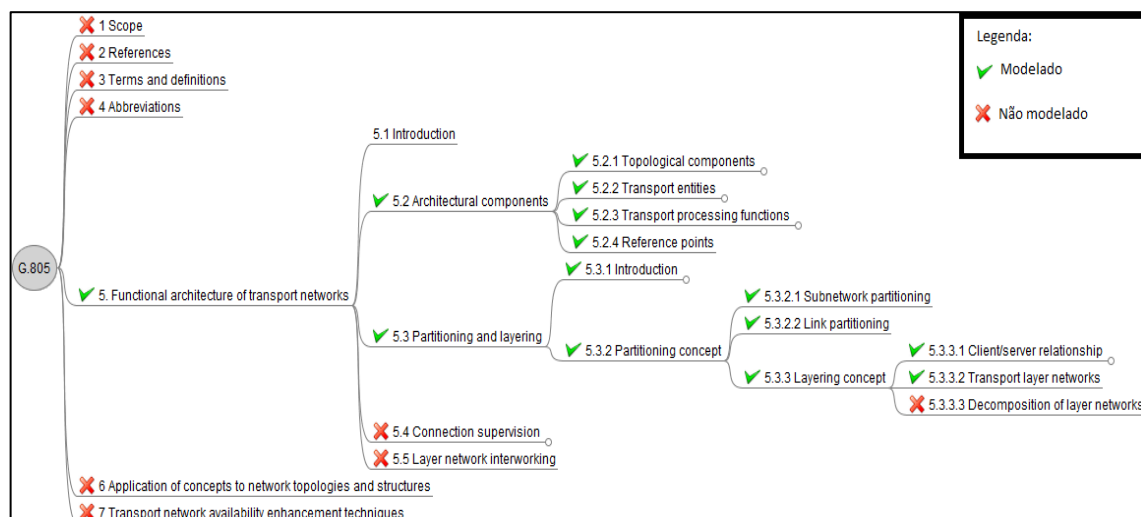


Figura 5-2 - Itens Modelados da Recomendação ITU-T G.805

A exceção fica por conta do tópico 5.3.3.3 da recomendação, que trata da decomposição de camadas de rede em subcamadas - esse tópico propositalmente não foi modelado, pois aumenta significativamente a complexidade do modelo. A modelagem desse tópico é uma proposta de trabalho futuro.

5.3 METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DA ONTOLOGIA

O processo utilizado para a criação do modelo conceitual em ontologia é cíclico e envolve as atividades de leitura e estudo da recomendação, discussão sobre seus conceitos e sobre suas distinções ontológicas e, enfim, a modelagem.

Após o processo de modelagem conceitual, o modelo gerado é menos restritivo do que o desejado. Isto é, ele representa mais informação (inválida) do que a que se deseja representar no modelo de referência. Assim, para que este problema seja resolvido, é necessária a criação de regras de restrição para este modelo. A Figura

5-3 a seguir ilustra o processo de criação do modelo e as restrições com regras lógicas.

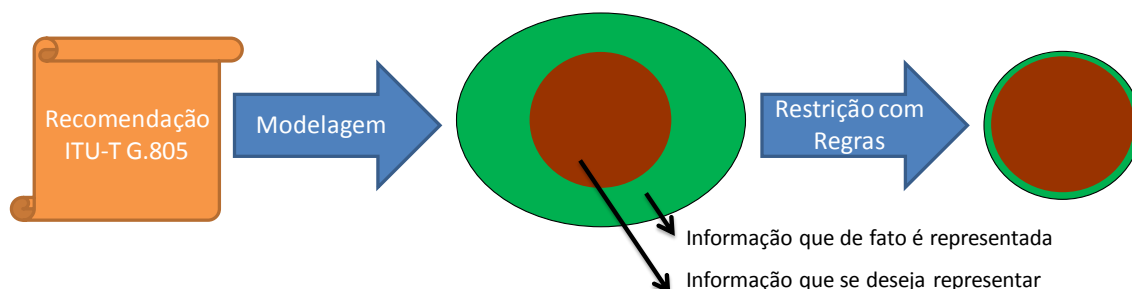


Figura 5-3- Processo de criação do modelo de referência

Muitas vezes foram identificadas deficiências na recomendação e, para uma modelagem completa, fez-se necessário realizar afirmações baseadas em exemplos práticos existentes. Acredita-se que, por ser muito genérica, a recomendação deixa lacunas, cabendo ao modelo desenvolvido neste trabalho apresentar soluções ontologicamente consistentes, completas e não ambíguas.

Durante as fases intermediárias do desenvolvimento do modelo, implementações em *Web Ontology Language* (OWL) e *Semantic Web Rule Language* (SWRL) (O'CONNOR *et al.*, 2005) (que permite inclusão de regras do tipo *if-then*), utilizando-se o Protégé (STANFORD CENTER FOR BIOMEDICAL INFORMATICS RESEARCH, 2009) são realizadas para teste dos conceitos.

5.4 ONTOLOGIA DA RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805

Ao todo, são apresentados aqui onze dos doze submodelos criados (o submodelo que não é apresentado é análogo a outro apresentado).

Ressalta-se que os submodelos aqui descritos não são independentes, apesar de exibidos separadamente. A separação dos submodelos tem por objetivo melhorar a visualização e o entendimento; porém todos são partes de um mesmo modelo, devendo assim não haver inconsistências entre eles e não haver distinção de ordem, nomes ou outros.

5.4.1 Componentes Arquiteturais

O submodelo que representa os Componentes Arquiteturais (ou, em inglês, *Architectural Components*) é ilustrado na Figura 5-4 a seguir.

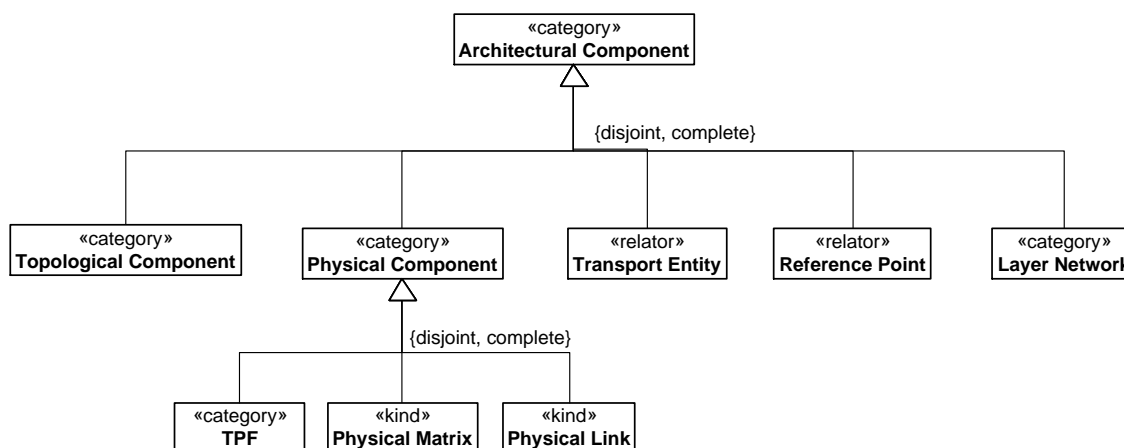


Figura 5-4 - Submodelo Componentes Arquiteturais

Um Componente Arquitetural é um elemento da distinção ontológica *category* (categoria), isto é, não define um tipo em si, mas agrega diferentes tipos. Este submodelo apenas indica que componentes arquiteturais são de exatamente cinco tipos diferentes e disjuntos: Componentes Topológicos (*Topological Components*), descrito no submodelo de mesmo nome; Componentes Físicos (*Physical Components*), descrito nos submodelos TPF Origem (*TPF Source*) e TPF Destino (*TPF Sink*); Entidades de Transporte (*Transport Entities*); e Pontos de Referência (*Reference Points*), descritos nos submodelos de mesmo nome; e Camada de Rede (*Layer Network*), também descrito no submodelo Componentes Topológicos.

Também está contida neste submodelo a composição dos componentes físicos por exatamente três tipos disjuntos: TPF, matriz física e link físico.

5.4.2 Funções de Processamento de Transporte

O submodelo que representa as funções de processamento de transporte (*Transport Processing Functions*, ou TPF) é ilustrado na Figura 5-5 a seguir.

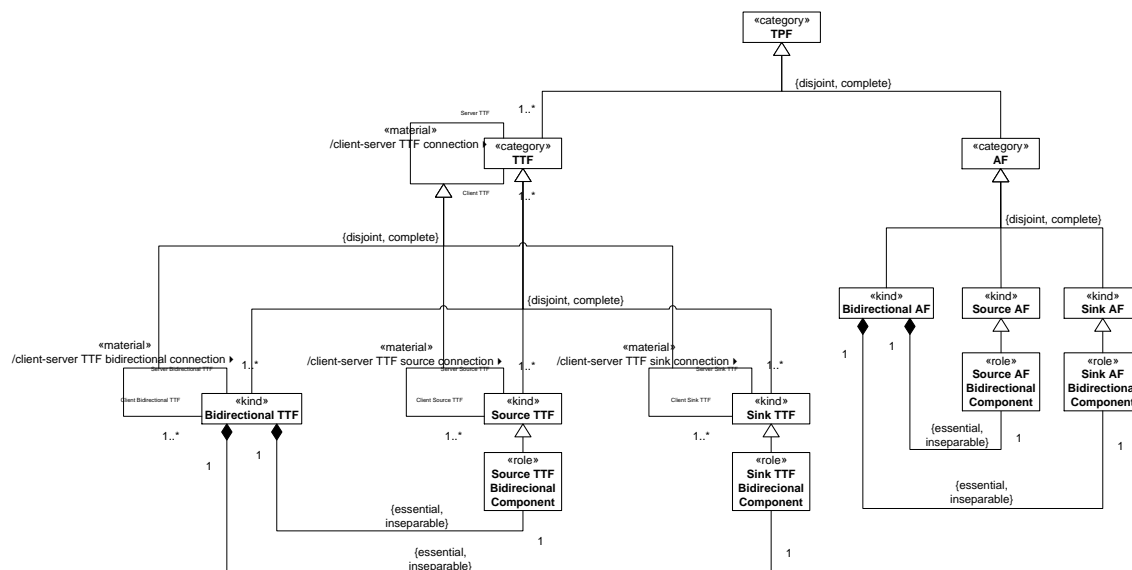


Figura 5-5 - Submodelo Funções de Processamento de Transporte

Este modelo representa os dois tipos de TPFs existentes: Funções de Terminação de Trilha (TTFs ou, em inglês, *Trail Termination Functions*) e Funções de Adaptação (AFs ou *Adaptation Functions*).

Ambos TTFs e AFs podem ser dos tipos origem (*Source*), destino (*Sink*) ou bidirecionais (*Bidirectional*), sendo este último composto de um elemento origem e um destino, colocados, não podendo existir sem eles. Por outro lado, os TPFs origem e destino podem compor um elemento bidirecional ou não, existindo isoladamente.

TTFs de camadas diferentes podem ser relacionados entre si pelo relacionamento *client-server TTF connection* (em seu tipo mais genérico), sendo este relacionamento especializado para cada tipo de TTF existente, gerando *client-server TTF bidirectional*, *source* ou *sink connection*.

5.4.2.1 Relacionamentos Opcionais

Outra questão a ser descrita, e que se repetirá em outros submodelos, é a existência de uma classe representando o papel assumido por determinada entidade para evitar cardinalidade zero em um relacionamento. A existência de relacionamentos

opcionais pode esconder conhecimentos importantes para o modelo e, portanto, sua eliminação é benéfica.

Sempre que se julgou necessário, essa distinção entre o próprio tipo e seus papéis assumidos é realizada. Um exemplo é no relacionamento de composição de AF bidirecionais por um par de AFs origem e destino. O modelo distingue o papel assumido pelos componentes unidirecionais quando compõem um elemento bidirecional. A Figura 5-6 a seguir ilustra esse fato, representando, à esquerda (Figura 5-6 A), a modelagem do caso com o relacionamento opcional (AFs origem e destino podem ou não compor um AF bidirecional) e a direita (Figura 5-6 B) a modelagem distinguindo o papel assumido pelas entidades unidirecionais na composição de um componente bidirecional (O AF bidirecional é composto por componentes AF origem e AF destino que desempenham o papel de componente bidirecional).

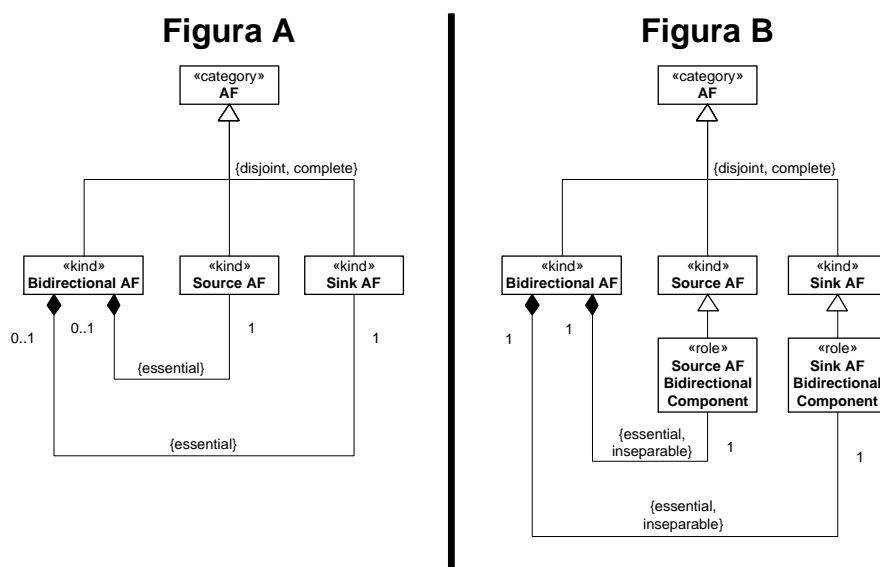


Figura 5-6 - Eliminação de cardinalidade zero

Como se pode observar, a distinção do papel de componente bidirecional modificou as propriedades da composição: na Figura 5-6 A, a composição era apenas essencial (representado por *{essential}* junto da relação de composição. Neste caso, essencial à existência de um AF origem e destino para compor um Bidirecional), porém AFs origem e destino não eram inseparáveis (representado por *{inseparable}* junto da relação de composição) de um AF bidirecional, pois esses poderiam existir independentes da existência de um AF deste tipo. Agora, na Figura B, a composição

recebe os atributos essencial e inseparável, visto que um AF origem ou destino que assume o papel de Componente Bidirecional é inseparável do AF bidirecional que ele compõe.

Porém, há casos em que se manteve o relacionamento com cardinalidade zero, como, por exemplo, na Figura 5-7 a seguir.

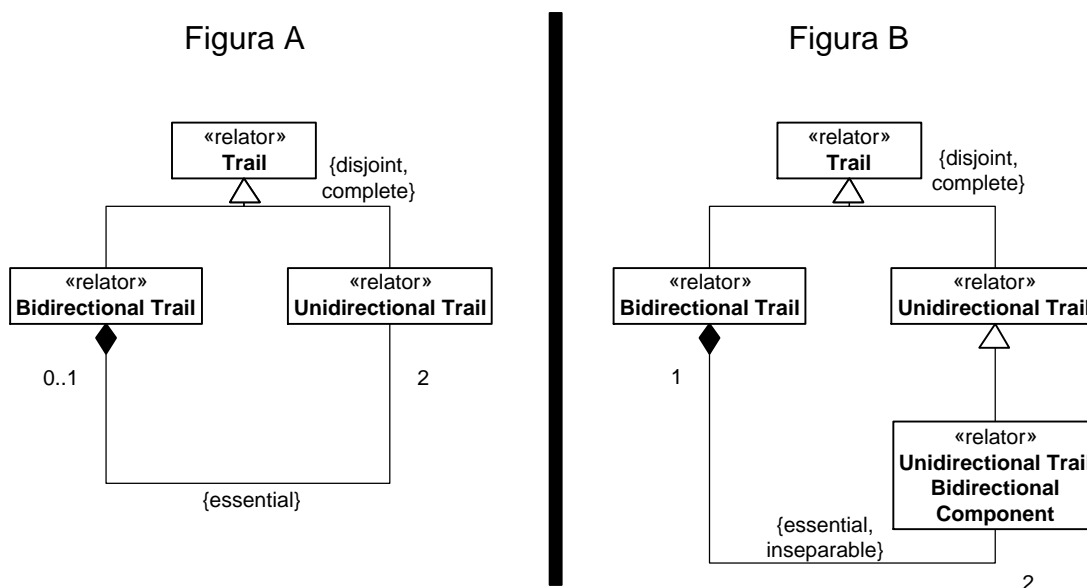


Figura 5-7 - Existência de cardinalidade zero

Neste caso, *relators* são tipos rígidos e, uma vez instanciados, não podem mais deixar de ser. Isto é, uma vez que uma trilha unidirecional se tornasse componente de uma trilha bidirecional, ela nunca mais poderia deixar de ser, o que não é o caso. Portanto, realiza-se a modelagem conforme a Figura 5-7 A e não como na Figura 5-7 B. Este trecho é retirado do submodelo entidades de transporte, explicado na seção 5.4.3.

5.4.3 Entidades de Transporte

O submodelo que representa as entidades de transporte (*Transport Entities*) é exibido na Figura 5-8 a seguir.

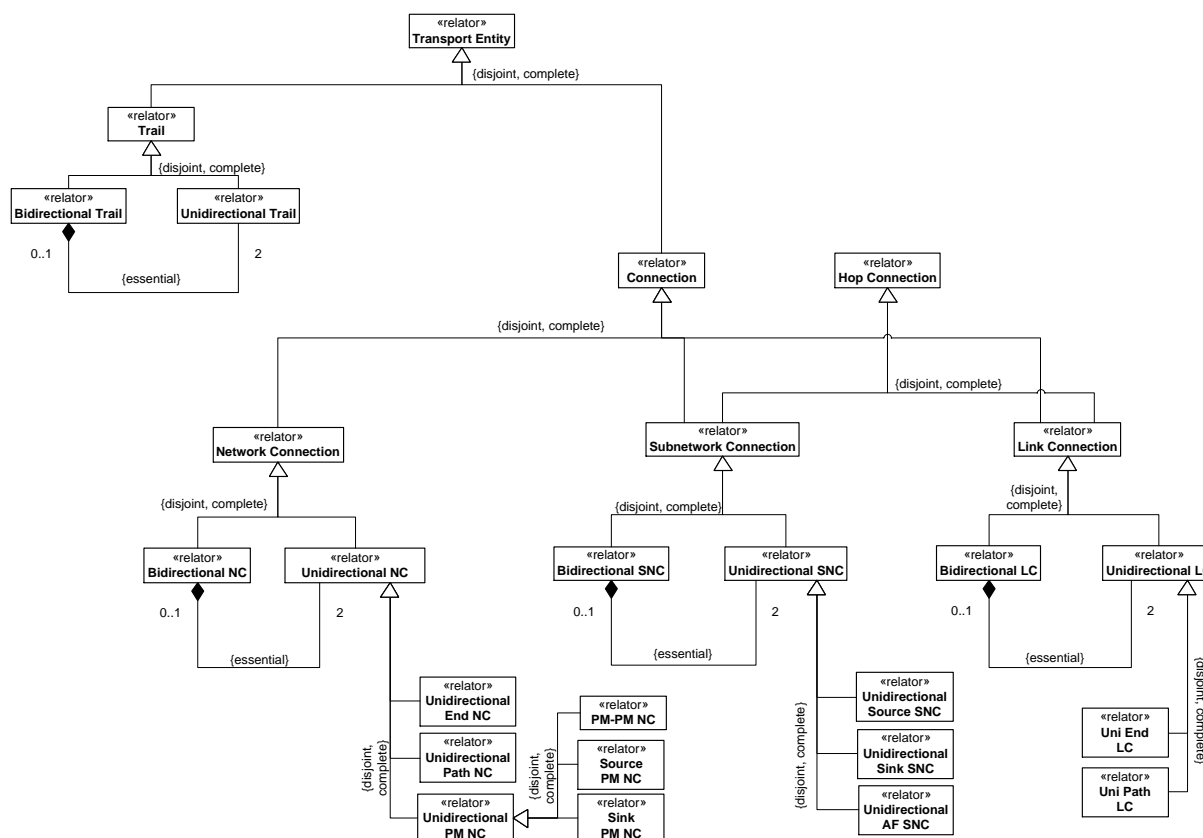


Figura 5-8 - Submodelo Entidades de Transporte

Este submodelo ilustra a existência de dois tipos de entidades de transporte. São elas as conexões (*connection*) e a trilha (*Trail*). As conexões são ainda divididas em Conexões de Rede (*Network Connection* ou NC), de Sub-rede (*Subnetwork Connection* ou SNC) e de Link (*Link Connection* ou LC), sendo que essas duas compõem uma classe chamada Conexões de Salto (*Hop Connection*), não existente na recomendação ITU-T G.805, mas utilizada no submodelo Suporte de Componentes.

Tanto a trilha quanto NCs, SNCs e LCs possuem um representante unidirecional e um bidirecional, composto de um par de elementos unidirecionais do mesmo tipo. NCs unidirecionais ainda podem ser de três tipos específicos (PM, *Path Layer* ou *End*; isto é, respectivamente, de Matriz Física, de Caminho ou de fim), dependendo do tipo de Ponto de Terminação de Conexão (*Termination Connection Point*, ou TCP) que origina esta entidade de transporte. Os diferentes tipos de TCP e sua formação são tratados no submodelo TCP origem e TCP destino.

Assim como o NC, o LC e o SNC também possuem tipos específicos que representam a ocorrência dessas entidades de transporte entre diferentes tipos de pontos de referência.

5.4.4 Relacionamentos Horizontais

O submodelo Relacionamentos Horizontais é composto pelos modelos exibidos na Figura 5-9, na Figura 5-10 e na Figura 5-11. Ele representa os aqui chamados relacionamentos horizontais: as Trilhas (*Trails*) e as Conexões de Rede (NCs).

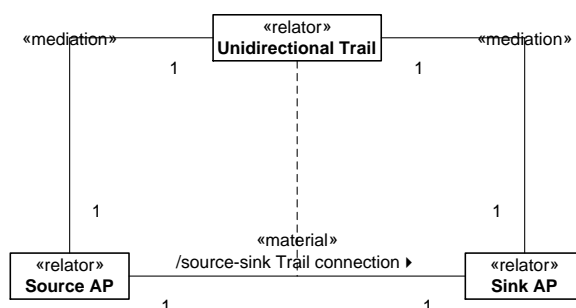


Figura 5-9 – Trilha unidirecional

Este submodelo é separado em quatro partes para uma melhor explicação. Primeiramente, o submodelo da Figura 5-9, representa uma Trilha unidirecional (*Unidirectional Trail*). Essa trilha, de distinção ontológica *relator*, existe mediando a relação, chamada de *source-sink Trail connection*, que existe entre pontos de acesso (AP ou *Access Point*, um tipo de ponto de referência) origem e destino.

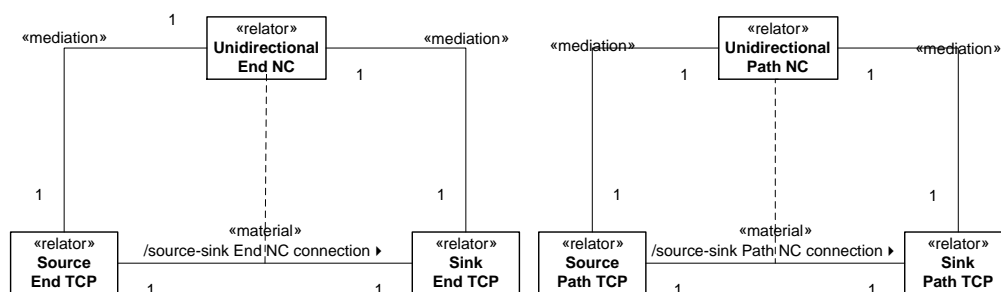


Figura 5-10 - Conexões de rede unidirecionais de caminho e fim

O segundo modelo, ilustrado na Figura 5-10, representa, à sua esquerda, a existência de NCs unidirecionais de camada de transmissão (*Unidirectional End NC*). Este NC é um *relator* que existe mediando a relação entre dois TCPs de camada de

transmissão, um origem e outro destino. O relacionamento entre esses TCPs é chamado de *source-sink End NC connection*. À direita do modelo encontrado na Figura 5-10, é representada a existência de NCs unidirecionais do tipo “Path”, isto é, das camadas de caminho (camadas clientes ou clientes e servidoras ao mesmo tempo, isto é, todas as camadas com exceção da camada de transmissão). Esse NC unidirecional de caminho media o relacionamento entre TCPs de caminho origem e destino, chamado de *source-sink Path NC connection*.

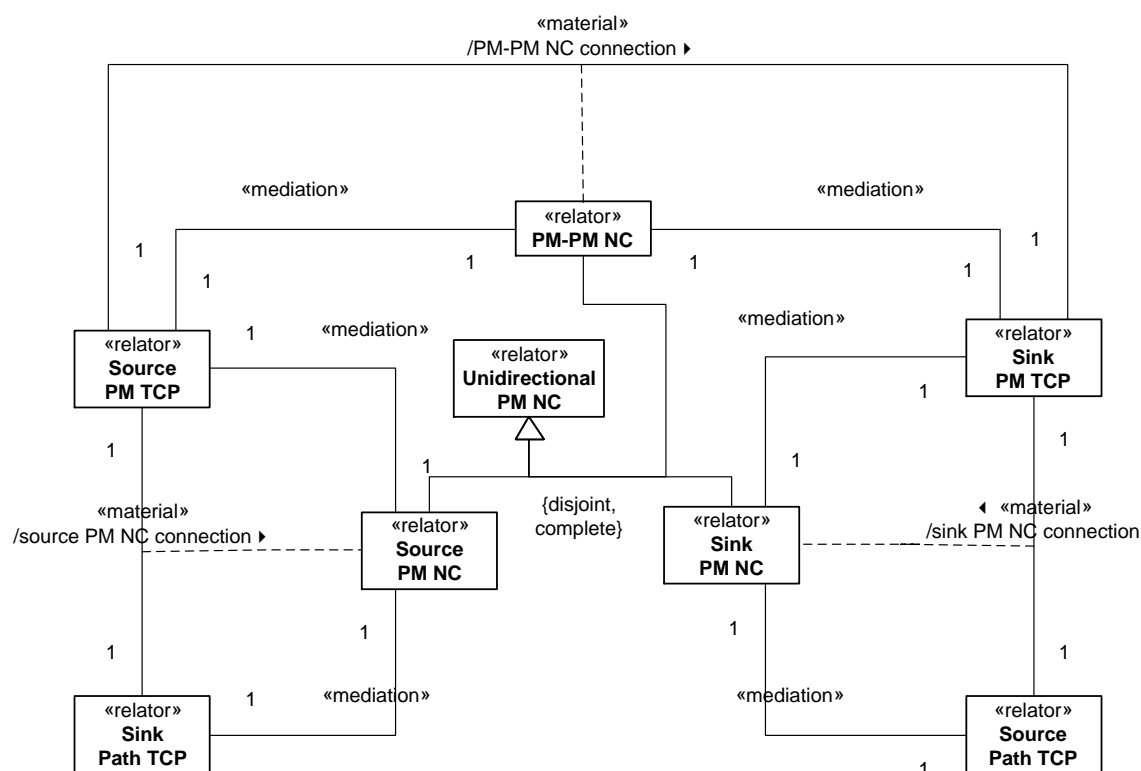


Figura 5-11 - Diferentes tipos de conexões de rede

O modelo da Figura 5-11 representa os possíveis tipos de NCs gerados a partir de TCPs relacionados a Matriz Física (PM). Estes podem ser de três tipos: PM-PM NC, que ocorre mediando um relacionamento entre um TCP do tipo PM origem e um TCP do tipo PM destino (isto é, tanto o TCP de origem quanto o TCP de destino existem mediando entradas e saídas de duas instâncias de matrizes físicas); o segundo tipo é o NC do tipo PM origem, que ocorre de um TCP relacionado a matriz física do lado origem com um TCP de caminho (não relacionado a matriz física e nem ao link físico) do lado destino; o terceiro tipo media o relacionamento entre um TCP origem de caminho com TCP destino do tipo PM (relacionado com uma matriz física no lado destino). Estes três tipos de NCs atrelados a TCPs do tipo PM em ao

menos uma de suas pontas são classificados como NCs unidirecionais do tipo PM (Unidirectional PM NC).

5.4.5 Conexões de Sub-rede e de Link

Este submodelo possui duas partes principais, uma que representa as conexões de sub-rede e outra que representa as conexões de link. Para uma melhor explicação, essas duas partes são separadas e explicadas nas subseções a seguir.

5.4.5.1 Conexões de Sub-rede

A Figura 5-12 a seguir ilustra o modelo desenvolvido para as conexões de sub-rede.

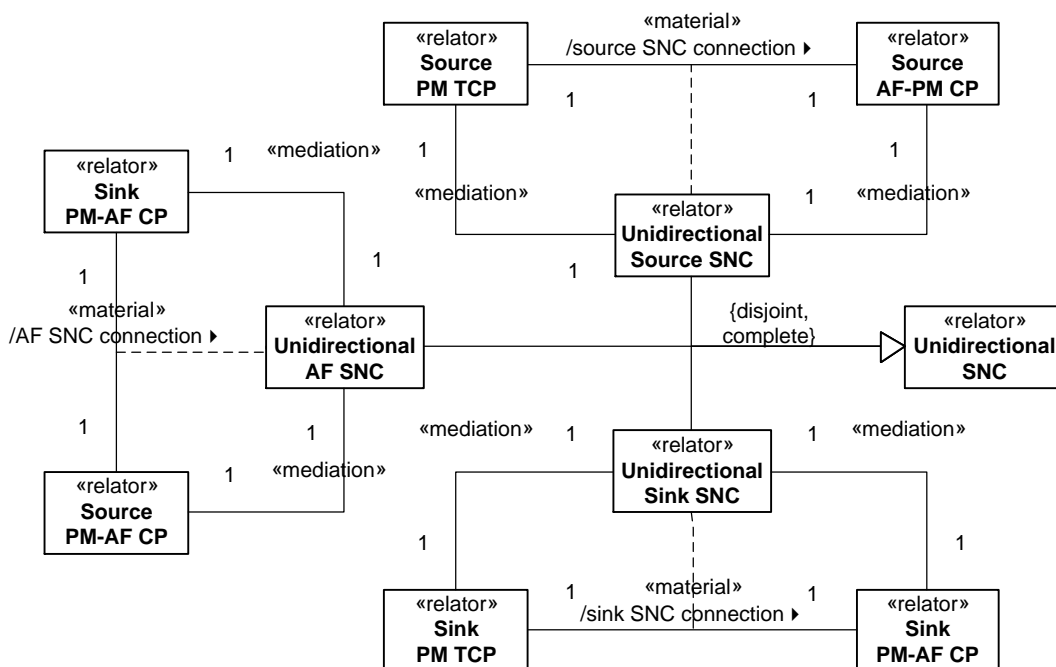


Figura 5-12 - Submodelo Conexões de Sub-rede

SNCs unidirecionais ocorrem entre pontos de referência de uma matriz física. Eles podem ser de três tipos: SNC unidirecional de origem, que media os pontos de referência relacionados a uma matriz física que se encontra no lado origem da rede; SNC unidirecional de destino, para uma matriz física do lado destino da rede; e do tipo SNC unidirecional de AF, que ocorre quando relaciona os pontos de referência

que ocorrem entre as ligações de uma matriz física com duas AFs, uma de origem e uma de destino.

5.4.5.2 Conexões de Link

A Figura 5-13 a seguir ilustra o modelo desenvolvido para as conexões de link.

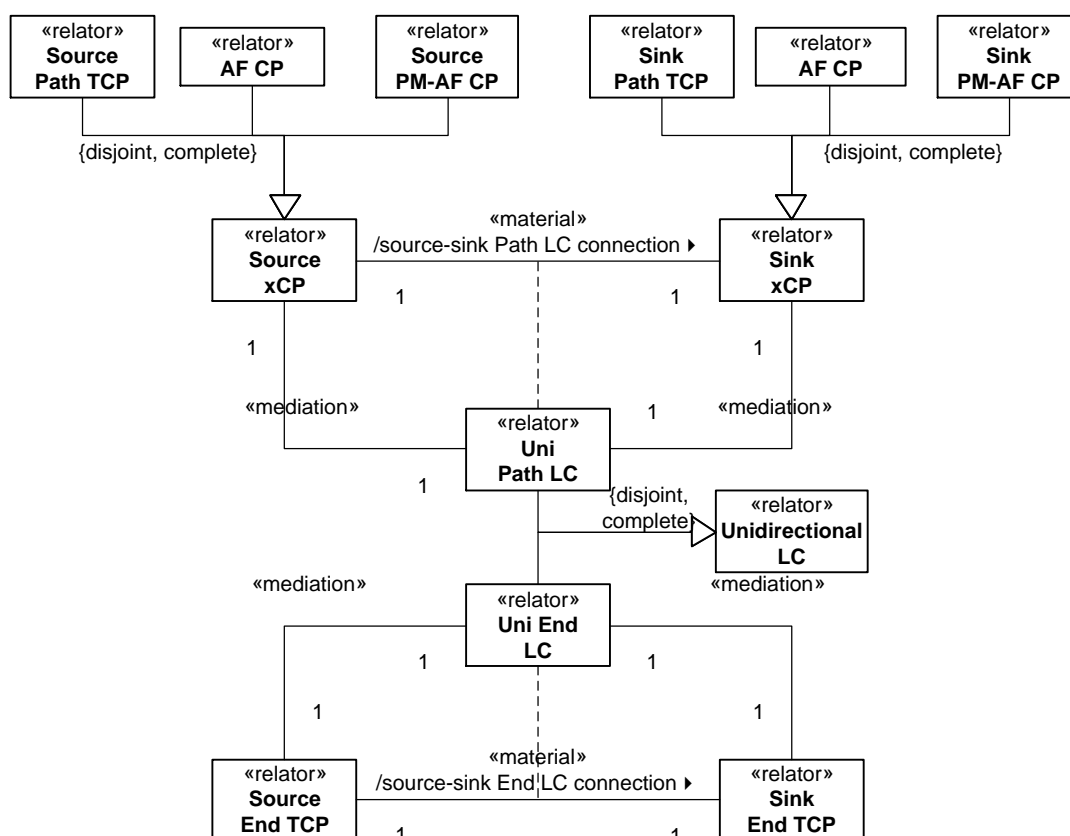


Figura 5-13 - Submodelo Conexões de Link

Conexões de LC podem ocorrer na camada de transmissão, recebendo o nome de LC unidirecional de fim (*Uni End LC*, que media TCPs que ocorrem nessa camada); ou nas camadas de caminho, recebendo o nome de LC unidirecional de caminho (*Uni Path LC*).

Enquanto um LC de camada de transmissão só é gerado por um relacionamento entre pontos de referência nessa camada, os LCs de camada de caminho podem ocorrer devido ao relacionamento de vários tipos de pontos de referência. Esses tipos são especificados pelas classes xCP origem (*Source xCP*) e xCP de destino

(*Sink* xCP), que não existem na recomendação ITU-T G.805, mas são utilizadas aqui para agrupar as entidades passíveis de relacionamentos.

5.4.6 Suporte de Componentes

O submodelo da Figura 5-14 a seguir exhibe as dependências existentes entre entidades de transporte de várias camadas de uma rede.

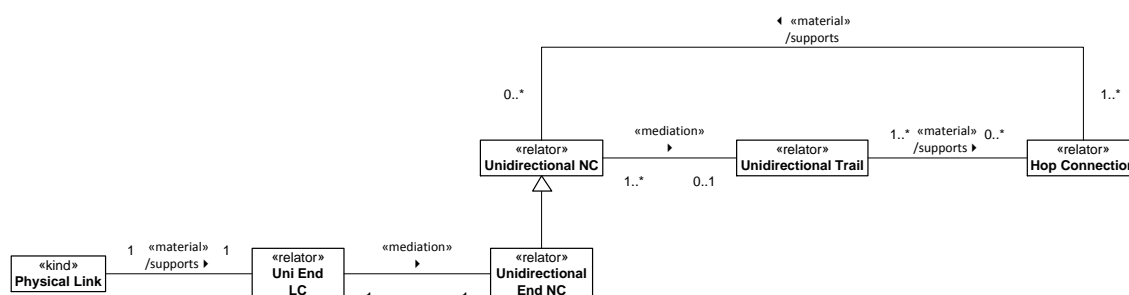


Figura 5-14 - Submodelo Suporte de Componentes

Lendo o modelo da esquerda para a direita, tem-se que um Link Físico, componente físico pertencente à camada mais inferior, isto é, a camada de transmissão, suporta um LC unidirecional de mesma camada (na verdade, que relaciona pontos de referência gerados pela ligação de componentes de mesma camada) que ele (do tipo LC de camada de transmissão ou *End LC*). Este *End LC*, por sua vez, media um NC unidirecional de camada de transmissão (*Unidirectional End NC*, que é existencialmente dependente do LC).

Para todo NC unidirecional (incluindo o de camada de transmissão), esse pode mediar uma trilha unidirecional de mesma camada (ele só não media quando não há um AP formado entre o TTF que define a camada e uma adaptação para a camada cliente). Por sua vez, essa trilha dá suporte para existência de entidades de transporte de salto (*hop connections* - denominação não existente na recomendação, utilizada aqui para definir LCs e SNCs) de camada superior.

A existência de um caminho físico contínuo entre dois TCPs define a existência de uma NC unidirecional de mesma camada. Esse caminho físico é representado pela ligação das entidades de transporte do tipo salto, que suportam a existência deste

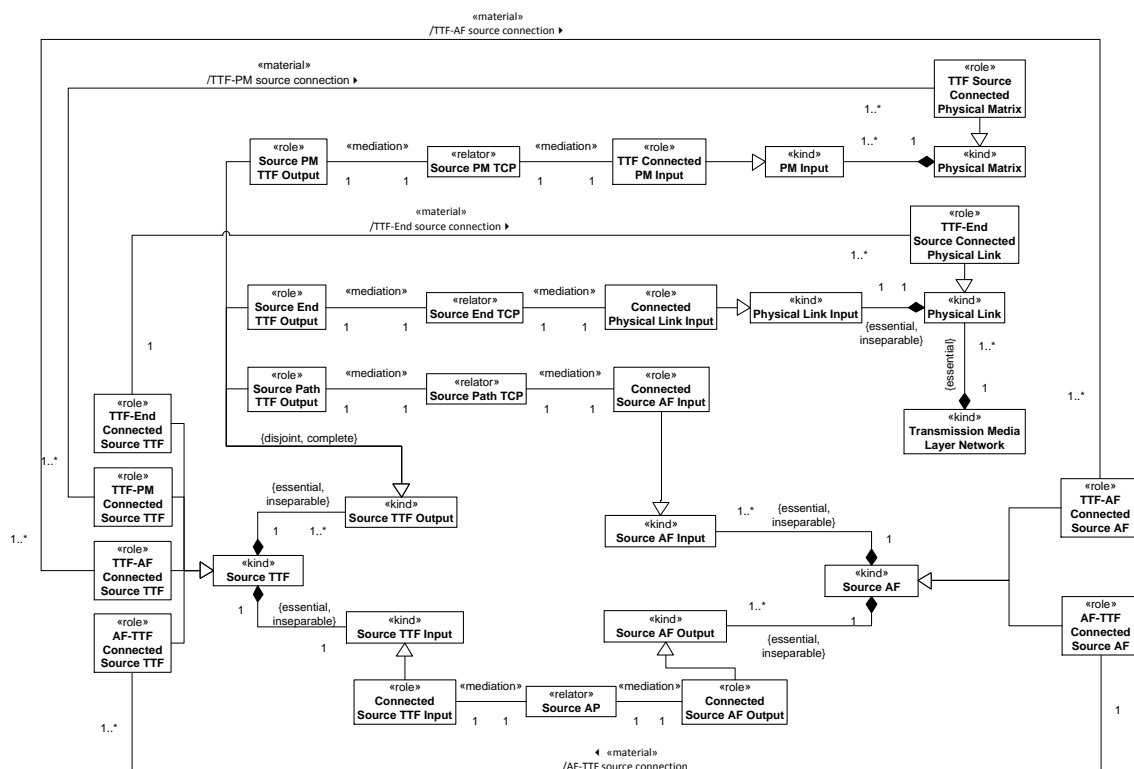


Figura 5-16 - Submodelo TPF Origem

Este submodelo é dividido em três partes para um melhor entendimento. A primeira dessas partes está representada na Figura 5-17 a seguir. São encontradas nesta figura as classes relacionadas às ligações entre TTFs e AFs origem.

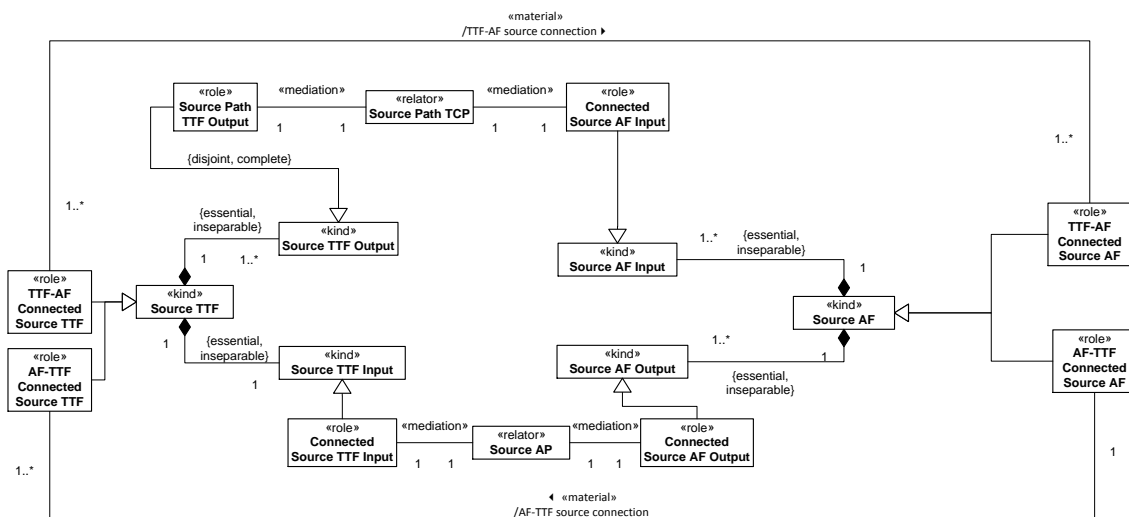


Figura 5-17 - Relacionamentos entre TTFs e AFs de origem

Pode ser visto que quando há um TTF origem cuja saída esteja ligada a uma entrada de uma AF origem, é gerado um TCP de caminho origem (*Source Path TCP*) e o TTF e o AF são relacionados por *TTF-AF source connection*. Para o caso

em que a saída de um AF origem é relacionada a entrada de um TTF origem, há a criação de um AP origem (*Source AP*) e há um relacionamento do tipo *AF-TTF source connection* entre os dois TPFs.

A segunda parte do submodelo, representada na Figura 5-18 a seguir, exibe a criação de um ponto de referência chamado TCP de tipo PM origem (*Source PM TCP*) quando a saída de um TTF é ligada a entrada de uma matriz física. Assim, o TTF e a matriz são relacionados por *TTF-PM source connection*.

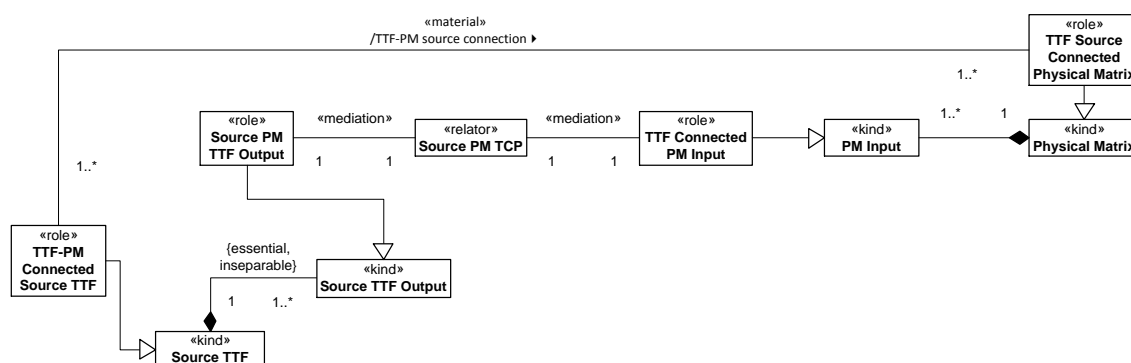


Figura 5-18 - Relacionamento entre TTF de origem e PM

É possível ver, na ultima parte deste submodelo, ilustrada na Figura 5-19 a seguir, que quando um TTF origem possui sua saída ligada a entrada de um link físico, há a criação de um TCP origem de camada de transmissão (*Source End TCP*), relacionando TTF e Link Físico por *TTF-End source connection*.

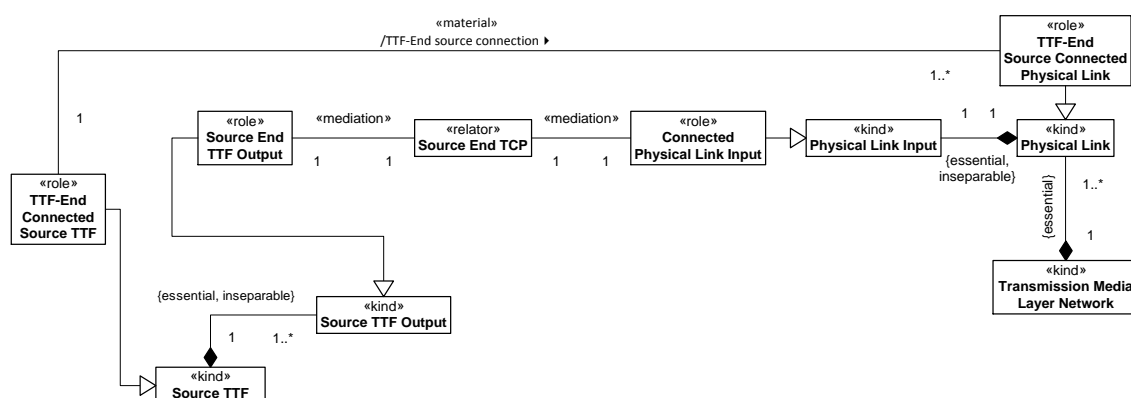


Figura 5-19 - Relacionamento entre TTF de origem e link físico

Há ainda o submodelo TPF Destino, que representa as relações entre os componentes físicos do lado destino da rede, porém este não é mostrado aqui, pois é análogo ao lado origem.

5.4.8 Pontos de Referência

O submodelo exibido na Figura 5-20 a seguir representa os Pontos de Referência e seus subtipos.

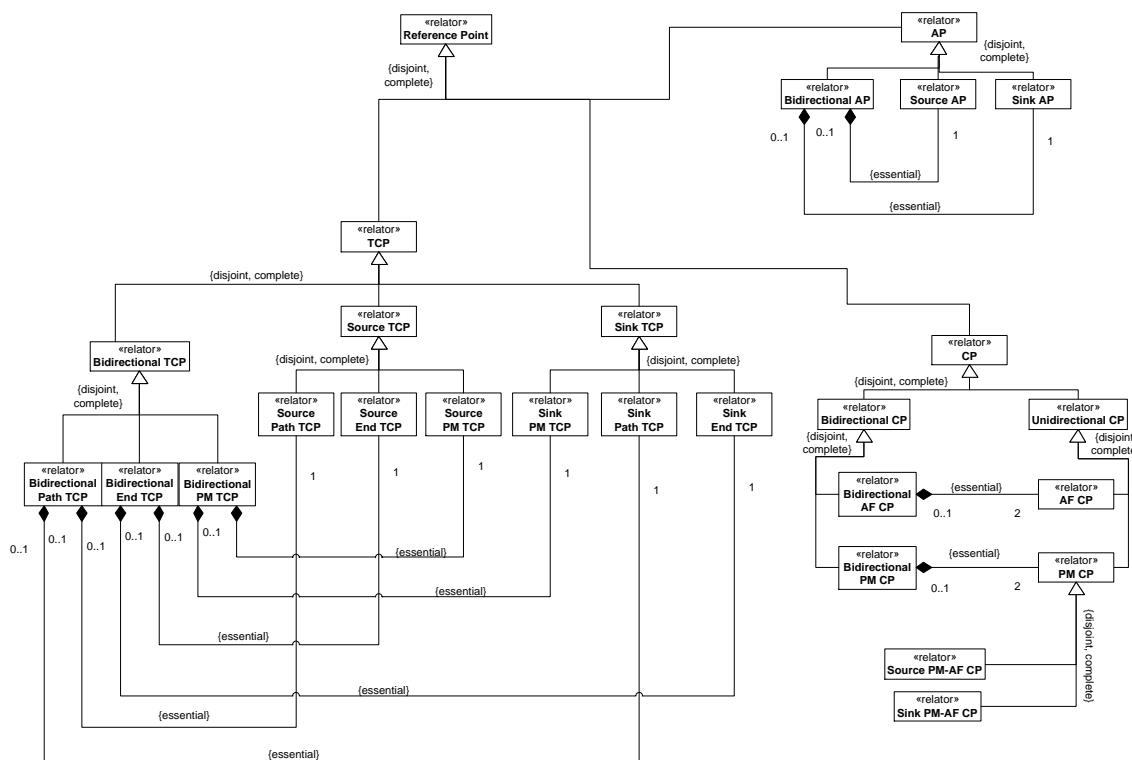


Figura 5-20 - Submodelo Pontos de Referência

Pode-se observar que são três os pontos de referência existentes: APs, TCPs e Pontos de Conexão (*Connections Points*, CPs).

APs podem ser de três tipos: origem, destino (com sua criação sendo mostrada no submodelo TPF origem e destino) e bidirecional (composto de um par de APs origem e destino).

TCPs podem ser de três tipos principais: origem, destino, e, assim como o AP, bidirecional, composto de um par de TTFs origem e destino. Os tipos origem, destino e bidirecional podem ser decompostos em outros três tipos, de acordo com a ligação entre componentes físicos que ele é criado. Para ligações entre TTFs e AFs, tem-se TCPs de caminho (*Source*, *Sink* e *Bidirecional Path TCPs*); para ligações de TTFs com matrizes de conexão, tem-se TCPs do tipo PM (*Source*, *Sink* e *Bidirecional PM*

TCPs); e para ligações entre TTFs e Links Físicos, tem-se TCPs de camada de transmissão (*Source*, *Sink* e *Bidirecional End TCPs*).

Os CPs, por sua vez, são do tipo unidirecional ou bidirecional, sendo estes divididos ainda de acordo com as ligações que originaram os CPs: AF CP, para CPs criados pelas ligações entre dois AFs; e PM CP, para CPs criados entre ligações de AFs com PMs. A criação de CPs é mostrada no submodelo Pontos de Conexão, apresentado na seção a seguir.

5.4.9 Pontos de Conexão

O submodelo Pontos de Conexão representa a formação dos diferentes tipos de CPs. As duas subseções a seguir explicam a formação de CPs dos tipos AF e PM separadamente, para uma melhor compreensão.

5.4.9.1 Pontos de Conexão do tipo AF

A Figura 5-21 a seguir ilustra o submodelo que representa o ponto de conexão do tipo AF (AF CP).

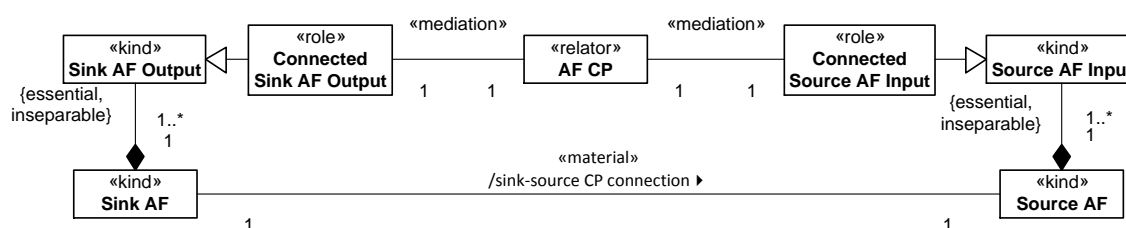


Figura 5-21 - Submodelo Pontos de Conexão do tipo AF

As classes do modelo ilustram a formação de CPs por conexões entre saídas de AFs destino com entradas de AFs origem, gerando CPs do tipo AF. Os AFs que possuem suas saídas e entradas relacionadas por um CP deste tipo estão relacionados entre si por *source-sink CP connection*.

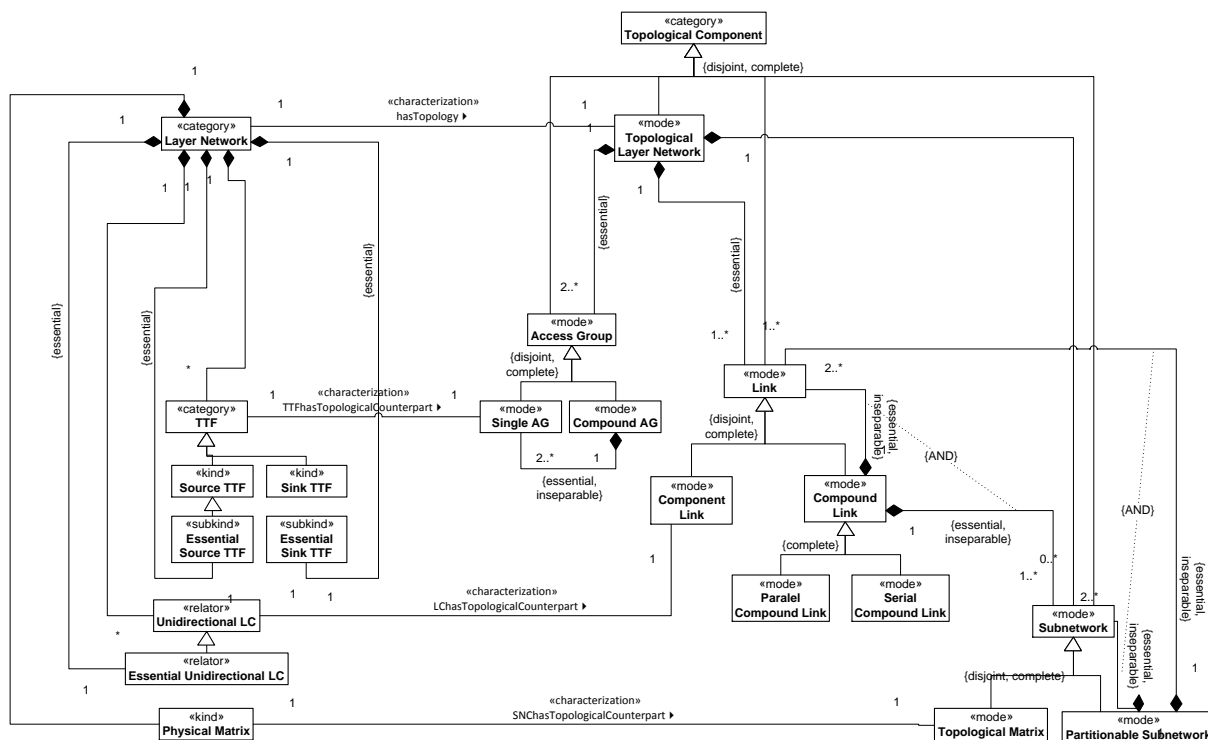


Figura 5-23 - Submodelo Componentes Topológicos

Os componentes topológicos nada mais são do que componentes físicos (TTF e matriz física) e de transporte (LC unidirecional) representados em outra visão, conforme explicado na seção 3.2.

É possível observar no modelo que são quatro os tipos de componentes topológicos: camadas de rede topológicas, grupos de acesso, links e sub-redes.

Quando a visão topológica de uma camada é representada, é feita uma correspondência de um para um entre os componentes físicos e de transporte para os elementos topológicos. Um TTF gera um AG individual (conceito esse ausente na recomendação, porém necessário – um caso de incompletude), uma LC gera um Link componente e uma matriz física gera uma matriz topológica (o conceito de matriz é confuso e incompleto, esse é tratado em detalhes na seção 4.2.4).

Este submodelo também indica que camadas são compostas por TTFs, matrizes físicas e por conexões de link, e que o elemento de transporte camadas de rede possui uma visão topológica composta pelos três componentes topológicos: Link, Sub-rede e AG.

O conceito de particionamento permite uma maior ou menor abstração de uma camada de rede de acordo com a intenção do usuário. Esse conceito, descrito na seção 5.3.2 da recomendação ITU-T G.805 nos diz que links podem ser agrupados ou decompostos em links ligados por sub-redes e que sub-redes também podem ser agrupadas ou decompostas em outras sub-redes ligadas por links. Esse fato também é representado pelas composições existentes no modelo.

5.4.11 Submodelo Camadas de Rede e Relacionamento Cliente/Servidor

O submodelo ilustrado na Figura 5-24 ilustra os diferentes tipos de camada de rede e o relacionamento cliente/servidor entre estas camadas.

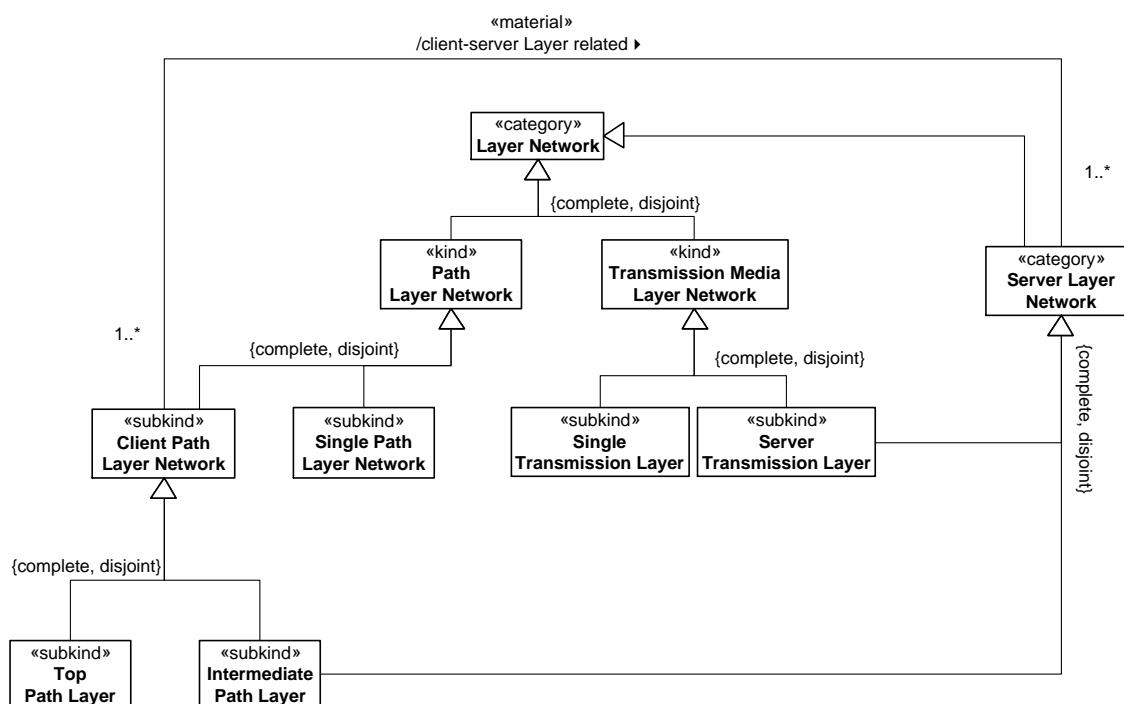


Figura 5-24 - Submodelo Camadas de Rede e Relacionamento Cliente/Servidor

Este modelo diz que existem dois tipos de camadas de rede, as de caminho (*Path Layer Network*) e as de transmissão (*Transmission Media Layer Network*). As camadas de caminho são compostas, como visto no submodelo anterior, por dois ou mais TTFs, enquanto a camada de transporte, além desses TTFs, deve ser composta também de um ou mais Links Físicos, como visto no submodelo TTF origem.

Camadas que possuem seus TTFs relacionados por *cliente-server TTF connection* possuem um relacionamento do tipo cliente/servidor, onde a camada mais abaixo, a servidora, fornece serviços à camada mais acima, a cliente. A Figura 5-25 a seguir ilustra os diferentes tipos de camada de rede existentes.

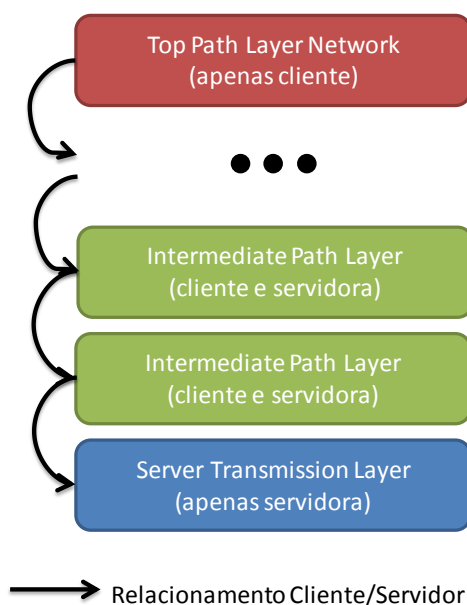


Figura 5-25 - Diferentes tipos de camada de rede existentes

Além de serem divididas em camadas de caminho (*Top Path Layer Network* e *Intermediate Path Layer*) e de transmissão, como mostra a Figura 5-25, as camadas também são divididas neste modelo em clientes, servidoras e não relacionadas, essas dos tipos *Single Path Layer Network* e *Single Transmission Layer*, que existem sem seus TTFs estarem relacionados a outros.

5.5 REGRAS DE RESTRIÇÃO E DERIVAÇÃO DO MODELO

Conforme descrito na seção 5.3, o modelo conceitual desenvolvido apresenta-se menos restritivo do que o desejado, considerando válidas informações que não deveriam ser. Para eliminação deste problema, regras lógicas de primeira ordem são utilizadas. As regras lógicas, além de seu uso como restrição para o modelo, também são utilizadas para inferência de novos conhecimentos, como demonstradas em alguns exemplos a seguir, sendo essas chamadas de regras de

derivação. Como dito anteriormente, apenas algumas regras de restrição e de derivação serão aqui apresentadas.

5.5.1 Regras de derivação dos relacionamentos do modelo

Há vários casos de relacionamentos derivados presentes no modelo conceitual (identificados por uma / antes do nome, segundo a sintaxe UML). Quando esses relacionamentos não são diretamente derivados de um *relator*, caso que ocorre, por exemplo, na derivação de *source-sink Trail connection* pela mediação de APs por um *relator* trilha unidirecional (indicado no modelo pela relação de derivação, uma linha pontilhada), então regras lógicas devem ser criadas para esta derivação.

Há também o caso do *client-server TTF connection*, em que este é sempre um dos seus três subtipos, não havendo a necessidade de criação de uma regra específica para ele (mas há a necessidade de criação para seus tipos filhos).

As regras de derivação de relacionamentos existentes no modelo são:

- *client-server TTF bidirecional connection*: derivado da existência de TTFs de origem e destino, relacionados entre si (através de *client-server TTF source connection* e *client-server TTF sink connection*), compondo TTFs bidirecionais.
- *client-server TTF source connection*: derivado da concatenação do relacionamento *TTF-AF source connection* entre um TTF de origem e um AF de origem com o relacionamento *AF-TTF source connection* entre o mesmo AF de origem e um outro TTF de origem.
- *client-server TTF sink connection*: caso análogo ao acima, para o lado destino da rede.
- *source-sink End NC connection*: derivado diretamente do *relator* NC unidirecional de fim.
- *source-sink Path NC connection*: derivado diretamente do *relator* NC unidirecional de caminho.
- *PM-PM NC connection*: derivado diretamente do *relator* PM-PM NC.

- *source PM NC connection*: derivado diretamente do *relator* NC de origem do tipo PM.
- *sink PM NC connection*: derivado diretamente do *relator* NC de destino do tipo PM.
- *source-sink Trail connection*: derivado diretamente do *relator* trilha unidirecional.
- *source SNC connection*: derivado diretamente do *relator* SNC unidirecional de origem.
- *sink SNC connection*: derivado diretamente do *relator* SNC unidirecional de destino.
- *AF SNC connection*: derivado diretamente do *relator* SNC unidirecional do tipo AF.
- *source-sink Path LC connection*: derivado diretamente do *relator* LC unidirecional de caminho.
- *source-sink End LC connection*: derivado diretamente do *relator* SNC unidirecional de fim.
- *supports*: derivado da ligação existente entre componentes físico e entidades de transporte que existem.
- *AF-TTF source connection*: derivado indiretamente do *relator* AP de origem.
- *TTF-AF source connection*: derivado indiretamente do *relator* TCP de origem do tipo de caminho.
- *TTF-End source connection*: derivado indiretamente do *relator* TCP de origem do tipo de fim.
- *TTF-PM source connection*: derivado indiretamente do *relator* TCP de origem do tipo PM.
- *AF-TTF sink connection*: derivado indiretamente do *relator* AP de destino.
- *TTF-AF sink connection*: indiretamente por TCP de destino do tipo de caminho.
- *TTF-End sink connection*: indiretamente por TCP de destino do tipo de fim.
- *TTF-PM sink connection*: indiretamente por TCP de destino do tipo PM.
- *sink-source CP connection*: indiretamente por AF CP.
- *PM-AF source connection*: indiretamente por CP origem do tipo PM-AF.
- *PM-AF sink connection*: indiretamente por CP destino do tipo PM-AF.

- *client-server Layer connection*: será apresentado no exemplo a seguir.

Como exemplo, é considerado o caso da relação *client-server Layer connection* entre uma camada cliente de caminho e uma camada servidora. Essa relação ocorre quando TTFs dessas camadas são relacionados por *client-server TTF connection*. A regra lógica de primeira ordem para este relacionamento, representada na Figura 5-26, é descrita por:

$$\begin{aligned} &\forall x, y, a, b \text{ TTF}(x) \wedge \text{TTF}(y) \wedge \text{client-server TTF connection}(x, y) \wedge \\ &\text{Layer Network}(a) \wedge \text{Layer Network}(b) \wedge (x < a) \wedge (y < b) \\ &\rightarrow \\ &\text{client-server Layer connection}(a, b) \end{aligned}$$

Em que $(x < a)$ quer dizer x compõe a , ou x é parte de a . Assim, conhecido o relacionamento *client-server Layer connection* entre duas camadas **a** e **b**, pelo modelo é possível saber que a camada **a** é uma camada do tipo cliente e de caminho e a camada **b** é uma camada servidora. Devido ao fato desses dois tipos serem disjuntos, também não existe a possibilidade do relacionamento ocorrer de uma camada para ela mesma (isto é, $x \neq y$).

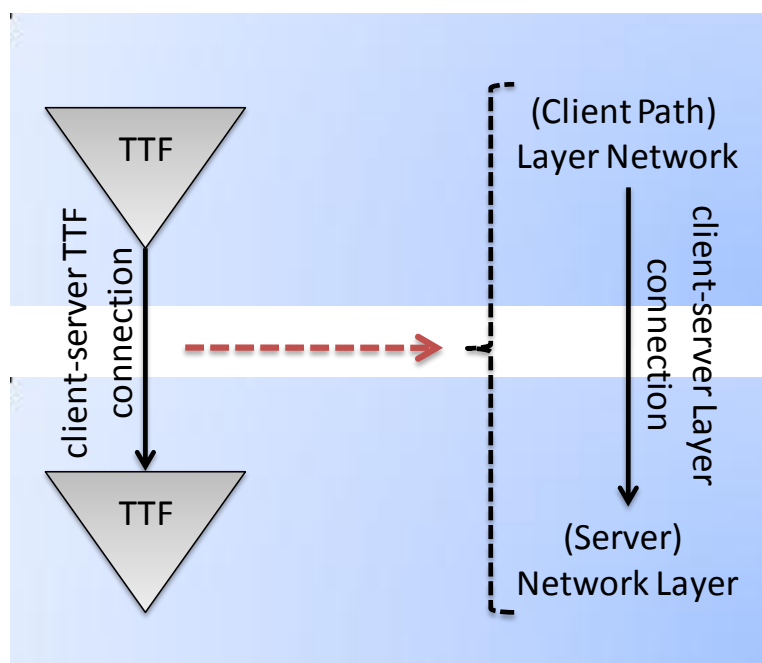


Figura 5-26 - Regra de derivação do relacionamento *client-server Layer connection*

5.5.2 Regras que definem propriedades dos relacionamentos

Cada relacionamento do modelo possui propriedades específicas como, por exemplo: funcionalidade, transitividade, simetria ou assimetria, reflexividade ou irreflexividade, dentre outras. Para que as propriedades de cada relacionamento estejam explícitas, é necessária sua formalização em regras lógicas.

Uma breve descrição de algumas das possíveis propriedades de relacionamentos é realizada nas subseções a seguir. Ressalta-se que ferramentas de auxílio a construção de ontologias, como o Protégé 4 (STANFORD CENTER FOR BIOMEDICAL INFORMATICS RESEARCH, 2009) fornecem facilidades para a implementação dessas propriedades dos relacionamentos. Essas ferramentas permitem a inclusão dessas propriedades de forma gráfica, sem a necessidade de inclusão de regras lógicas.

As descrições dos possíveis tipos de propriedades dos relacionamentos (subseções 5.5.2.1 a 5.5.2.7) são baseadas e possuem material extraído e adaptado de (HORRIDGE, 2009).

5.5.2.1 Funcionalidade

A funcionalidade também é conhecida como “propriedade de valor único”. Se uma propriedade é funcional, para um dado indivíduo pode haver apenas um indivíduo que está relacionado via esta propriedade. A Figura 5-27 a seguir mostra um exemplo: a propriedade funcional *tem Mãe*.

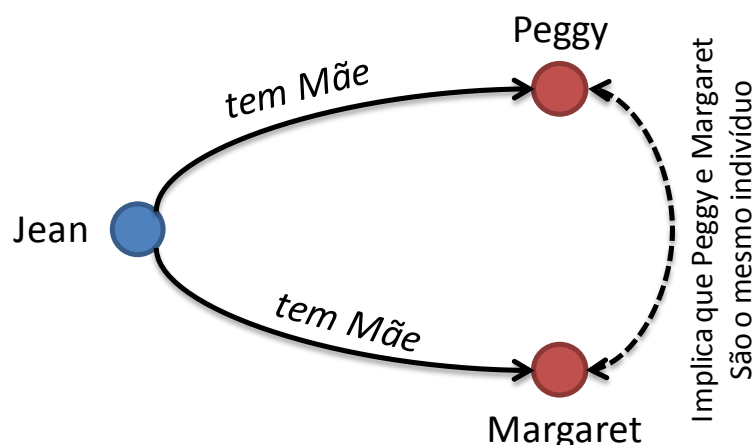


Figura 5-27 - Exemplo de propriedade funcional

Se for dito que o indivíduo Jean *tem Mãe* Peggy e também é dito que Jean *tem Mãe* Margaret, então, devido ao fato de *tem Mãe* ser uma propriedade funcional, pode-se inferir que Peggy e Margaret são o mesmo indivíduo.

Deve ser notado também que, se Peggy e Margaret estão explicitamente declarados como sendo indivíduos diferentes, a declaração acima levará a uma inconsistência.

5.5.2.2 Funcionalidade Inversa

Se uma propriedade é funcional inversa então significa que a propriedade inversa é funcional. Para um dado indivíduo pode haver um único indivíduo relacionado a ele por esta propriedade.

A Figura 5-28 a seguir mostra um exemplo de propriedade funcional inversa: *é Mãe de*, que é propriedade inversa de *tem Mãe* – como *tem Mãe* é funcional, *é Mãe de* é inversa funcional.

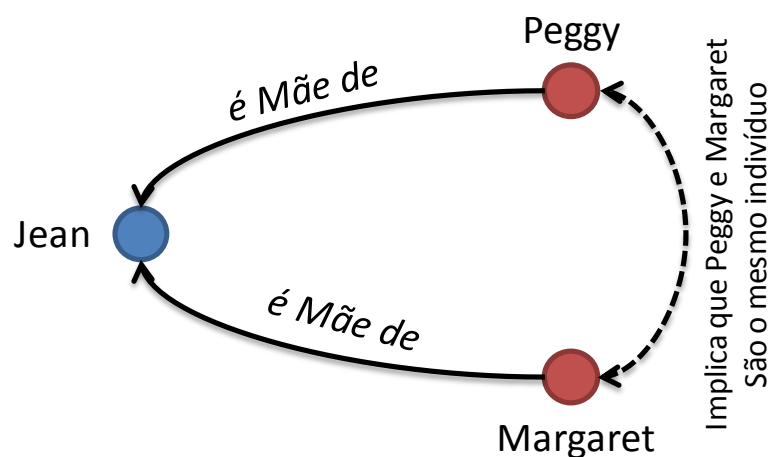


Figura 5-28 - Exemplo de propriedade funcional inversa

Se for declarado que Peggy é mãe de Jean e também é declarado que Margaret é mãe de Jean, então se pode inferir que Peggy e Margaret são o mesmo indivíduo.

5.5.2.3 Transitividade

Se uma propriedade **P** é transitiva e essa propriedade relaciona um indivíduo **A** a um indivíduo **B**, que por sua vez é relacionado a um indivíduo **C** por essa mesma propriedade **P**, então pode-se inferir que o indivíduo **A** está relacionado ao indivíduo **C** via propriedade **P**.

A Figura 5-29 a seguir mostra o exemplo da propriedade transitiva *tem Ancestral*. Se o indivíduo Matthew tem um ancestral que é Peter, e Peter tem um ancestral que é William então se pode inferir que Matthew tem um ancestral que é William – isso está indicado pela linha pontilhada na Figura 5-29 a seguir.

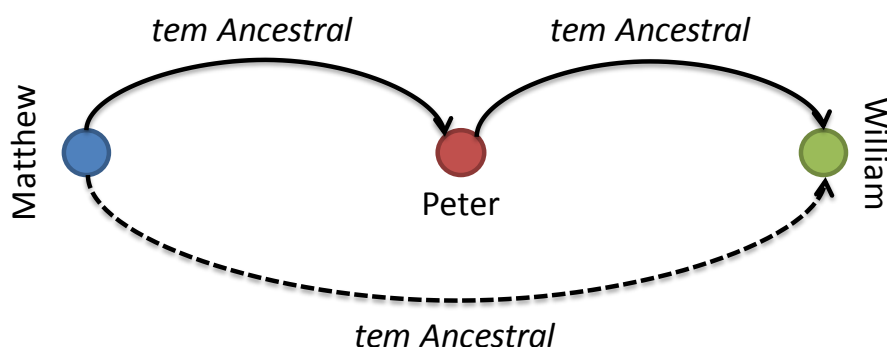


Figura 5-29 - Exemplo de propriedade transitiva

Note que se uma propriedade é transitiva:

- Então sua propriedade inversa também deve ser transitiva.
- Essa propriedade não pode ser funcional.

Sendo x , y e z indivíduos quaisquer e R um relacionamento, a implementação da propriedade de transitividade em R em regra lógica de primeira ordem é:

$$\forall x, y, z$$

$$R(x, y) \wedge R(y, z) \rightarrow R(x, z)$$

5.5.2.4 Simetria

Se uma propriedade **P** é simétrica e relaciona um indivíduo **A** a um indivíduo **B**, então **B** também está relacionado a **A** via propriedade **P**.

A Figura 5-30 a seguir mostra um exemplo de propriedade simétrica. Se o indivíduo Matthew está relacionado com o indivíduo Gemma via propriedade transitiva *tem Irmão*, logo se pode inferir que Gemma também deve estar relacionado a Matthew via propriedade *tem Irmão*. Em outras palavras: Matthew tem irmão que é Gemma então Gemma deve ter um irmão que é Matthew.

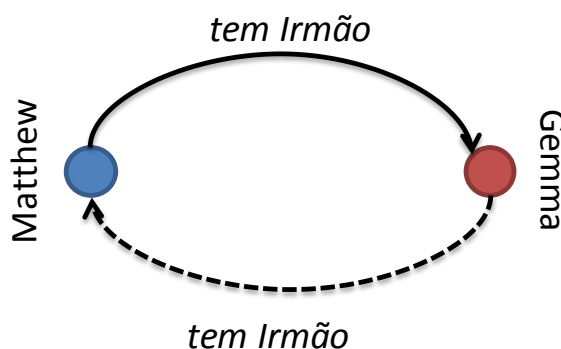


Figura 5-30 - Exemplo de propriedade simétrica

Visto de outra forma, a propriedade é sua própria propriedade inversa.

Sendo x e y indivíduos quaisquer e R um relacionamento, a implementação da propriedade de simetria em R em regra lógica de primeira ordem é:

$$\forall x, y$$

$$R(x, y) \rightarrow R(y, x)$$

5.5.2.5 Antissimetria

Se uma propriedade **P** é antissimétrica e essa propriedade **P** relaciona um indivíduo **A** com outro indivíduo **B**, então o indivíduo **B** não pode estar relacionado com o indivíduo **A** via propriedade **P**.

A Figura 5-31 a seguir mostra um exemplo de propriedade antissimétrica. O indivíduo Robert está relacionado com o indivíduo David via propriedade antissimétrica é *Filho De*. É plausível relacionar o indivíduo David com o indivíduo Bill via propriedade é *Filho De*, porém não é possível relacionar o indivíduo Robert com o indivíduo Bill por essa mesma propriedade, isto é, Robert não pode ser filho de David e de Bill ao mesmo tempo, mas pode ser filho de David e este por sua vez ser filho de Bill.

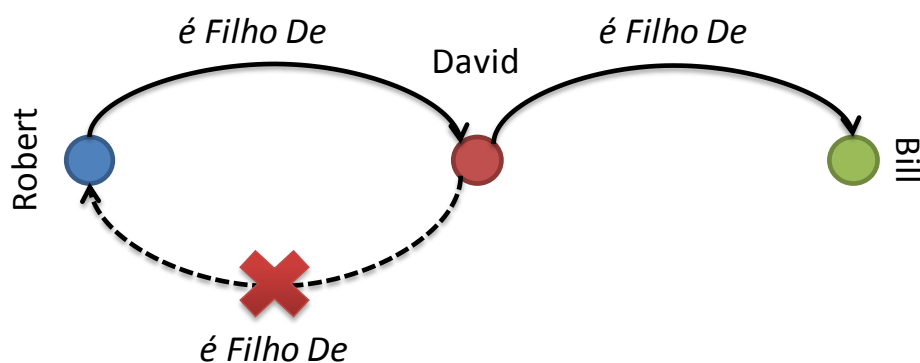


Figura 5-31 - Exemplo de propriedade antissimétrica

5.5.2.6 Reflexividade

Certa propriedade **P** é dita reflexiva quando ela relaciona um indivíduo **A** a ele mesmo.

Na Figura 5-32 a seguir se pode ver um exemplo dessa característica. Utilizando-se a propriedade reflexiva *conhece*, um indivíduo George deve ser relacionado a ele mesmo usando a propriedade *conhece*.

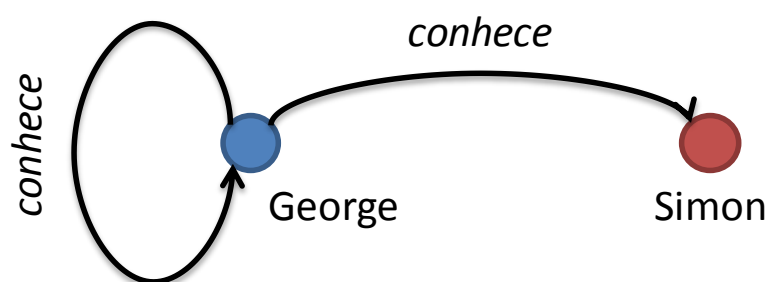


Figura 5-32 - Exemplo de propriedade reflexiva

Em outras palavras, George deve conhecer a si mesmo. Além disso, é possível que George conheça outras pessoas, portanto, ele pode ter esse mesmo relacionamento *conhece* com o indivíduo Simon, por exemplo.

Sendo x um indivíduo qualquer e R um relacionamento, a implementação da propriedade de reflexividade em R em regra lógica de primeira ordem é:

$\forall x$
 $R(x, x)$

5.5.2.7 Irreflexividade

Se uma propriedade **P** é irreflexiva, ela pode ser descrita como uma propriedade que relaciona um indivíduo **A** a um indivíduo **B**, aonde os indivíduos **A** e **B** não são o mesmo.

Um exemplo desta característica pode ser vista com a propriedade irreflexiva *é Mãe De*, na Figura 5-33 a seguir.

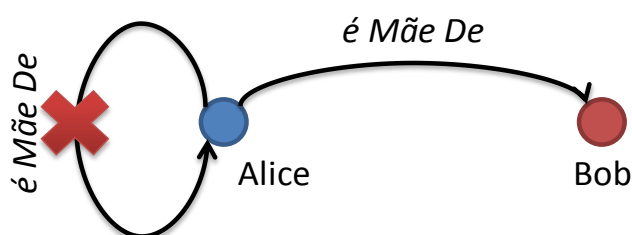


Figura 5-33 - Exemplo de propriedade irreflexiva

Um indivíduo Alice pode ser relacionado ao indivíduo Bob pelo relacionamento *é Mãe De*, porém Alice não pode ser relacionada a ela mesma utilizando-se essa propriedade, isto é, ela não pode ser mãe dela mesma.

5.5.2.8 Outras propriedades

É importante mencionar que as propriedades anteriormente citadas são exemplos e que há outras propriedades que se fazem presentes no modelo conceitual construído. Um exemplo é a propriedade de aciclicidade do relacionamento *client-server Layer connection*.

Esse relacionamento modela o relacionamento cliente/servidor entre camadas de rede, ocorrendo de uma ou mais camadas clientes para uma ou mais camadas servidoras.

Além de assimétrica, irreflexiva e intransitiva, esse relacionamento não pode ocorrer de forma cíclica. Isto é: uma camada (servidora) qualquer não pode se relacionar com uma camada cliente da sua camada cliente ou com uma camada cliente da camada cliente de sua camada cliente, e assim por diante.

A Figura 5-34 a seguir ilustra essa propriedade.

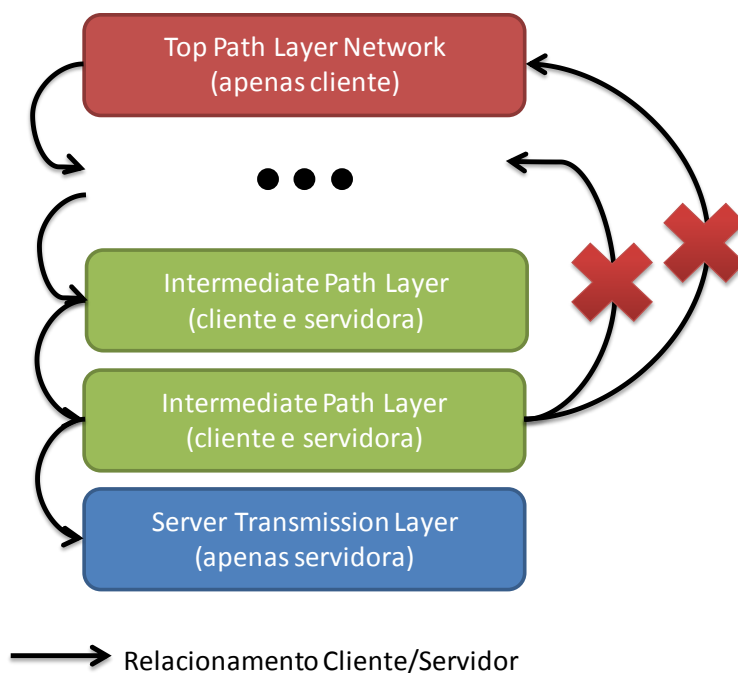


Figura 5-34 - Aciclicidade do relacionamento *client-server Layer connection*

5.5.3 Regras para composição de pontos de referência bidirecionais

Pode ser depreendido da modelagem de pontos de referência bidirecionais que esses são compostos de dois pontos de referência unidirecionais. A Figura 5-35 a seguir ilustra o caso dos pontos de acesso (AP).

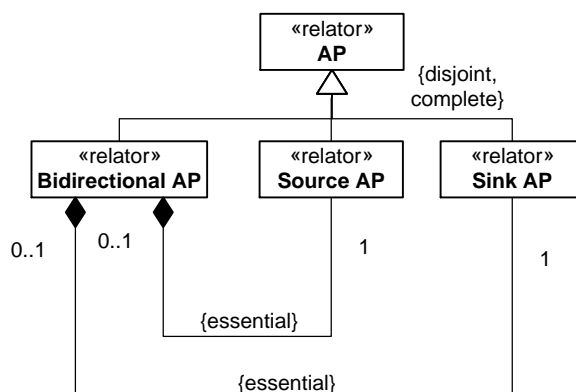


Figura 5-35 - Composição de pontos de acesso bidirecionais

Na verdade, no caso de APs, de CPs do tipo AF e de TCPs de caminho, eles são compostos por pares de componentes do mesmo tipo, porém que estão relacionados a componentes físicos que fazem parte de um componente bidirecional. Isto é: APs bidirecionais são compostos por um AP de origem e um de destino, porém que relacionam entradas e saídas de AFs e TTFs unidirecionais que compõem AFs e TTFs bidirecionais, conforme pode ser visto na Figura 5-36 a seguir.

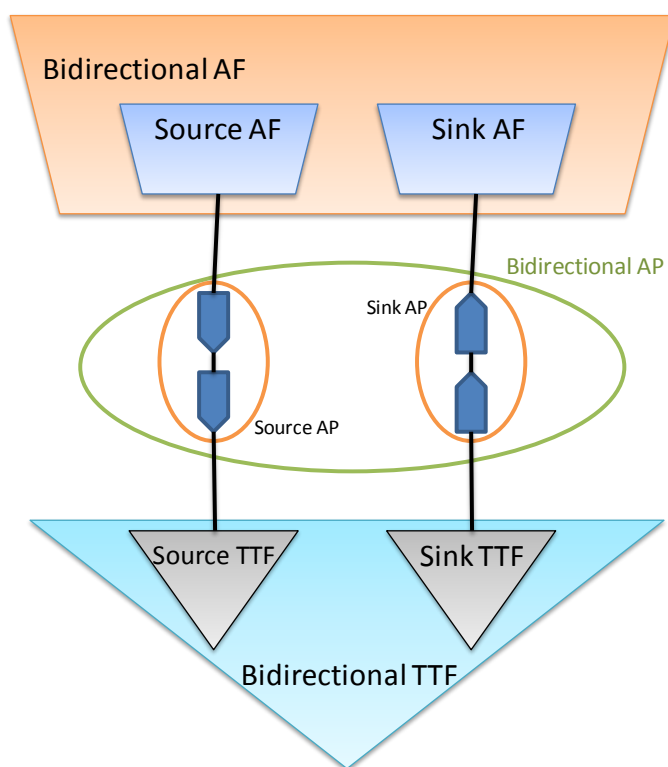


Figura 5-36 - APs bidirecionais

Assim, deve haver uma restrição por regras para que APs bidirecionais só sejam compostos por APs de origem e de destino nessa situação. A seguir é ilustrada a regra utilizada neste modelo:

$$\forall k1, k2, x, x1i, x2o, y, y1o, y2i$$

$$\text{Source AP } (k1) \wedge \text{Sink AP } (k2) \wedge \text{Bidirectional TTF } (x) \wedge \text{Bidirectional AF } (y) \wedge$$

$$\text{Source TTF Input } (x1i) \wedge \text{Sink TTF Output } (x2o) \wedge \text{Source AF Output } (y1o) \wedge \text{Sink AF Input } (y2i) \wedge$$

$$\text{mediates } (k1, x1i) \wedge \text{mediates } (k1, y1o) \wedge \text{mediates } (k2, x2o) \wedge \text{mediates } (k2, y2i) \wedge$$

$$\text{isPartOf } (x1i, x) \wedge \text{isPartOf } (x2o, x) \wedge \text{isPartOf } (y1o, y) \wedge \text{isPartOf } (y2i, y)$$

$$\leftrightarrow$$

$$\exists k \text{ Bidirectional TCP } (k) \wedge \text{isPartOf } (k1, k) \wedge \text{isPartOf } (k2, k)$$

Para o caso das entidades de transporte, regras também são necessárias para restringir as possíveis composições de elementos bidirecionais. São necessárias regras para composição de trilhas, NCs, SNCs e LCs bidirecionais. Esses, em geral, ocorrem quando seus componentes unidirecionais relacionam pontos de referência unidirecionais que fazem parte de um ponto de referência bidirecional.

5.5.4 Outras regras do submodelo

São listadas a seguir, com uma breve descrição, outras regras de inferência de novos conhecimentos e de restrição do modelo ontológico da recomendação ITU-T G.805. São elas:

1. Inferência da existência de TTFs a partir da ligação das camadas que são compostas por eles:
 - Todas as camadas de rede que possuem um relacionamento cliente-servidor possuem TTFs e estes são relacionados com client-server TTF connection do seu tipo específico (origem, destino ou bidirecional).
2. Regras para definição de camada de matrizes físicas:

- Uma matriz física sempre pertence a uma camada de rede específica. Deve haver uma regra que determine que quando ela está ligada a um TTF então essa matriz faz parte da mesma camada do TTF.
 - Uma regra específica para o caso de uma matriz física que liga entradas e saídas de AFs também deve ser criada. Essa regra diz que uma matriz física neste caso pertence a camada cliente a camada que contém os AFs que ela se relaciona.
3. Relacionamentos entre TTFs bidirecionais e seus componentes:
- Sempre que houver um relacionamento *client-server TTF bidirectional connection* entre dois TTFs bidirecionais, haverá relacionamentos específicos entre seus componentes.
4. Inferindo relacionamentos complementares entre TTFs bidirecionais e AFs bidirecionais
- Uma vez que exista um relacionamento entre uma parte origem de um TTF ou AF bidirecional com outra parte origem de um AF ou TTF bidirecional (*TTF-AF source connection* ou *AF-TTF source connection*) deve também haver um relacionamento entre as partes destino (*TTF-AF sink connection* ou *AF-TTF sink connection*), e vice versa.
5. Restrição de relações de NCs, trilhas, SNCs e LCs a pontos de referência de TTFs de mesma camada:
- Cada um dos relacionamentos *source-sink End NC connection*, *source-sink Path NC connection*, *PM-PM NC connection*, *source PM NC connection*, *sink PM NC connection*, *source-sink Trail connection*, *source SNC connection*, *sink SNC connection*, *AF SNC connection*, *source-sink End LC connection* e *source-sink Path LC connection* possui uma regra para sua restrição. Esses não podem ocorrer entre pontos de referência que mediam componentes de camadas diferentes em seus lados origem e destino.
6. Restringindo mediações de CP do tipo AF a AFs que possuem relacionamento com TTFs de mesma camada:
- CPs do tipo AF só podem ocorrer quando há uma ligação entre AFs destino e origem que são relacionadas por *AF-TTF sink connection* e *AF-TTF source connection* com TTFs de mesma camada.
7. Inferência de trilhas e NCs quando esses relacionam os mesmos TTFs:

- Sabendo-se que dois TTF possuem uma trilha (na verdade, a entrada deste TTF é mediado por um AP que é mediado por uma trilha) relacionando-o com outro TTF, então é possível afirmar que ao menos uma das saídas (na verdade, um TCP que mediará a saída desse mesmo TTF) deste primeiro TTF possuirá uma NC.
 - Uma vez conhecido que, para um TTF, existe uma NC ocorrendo entre TCPs que mediam uma de suas saídas, é possível inferir que haverá uma trilha mediando um AP que media a entrada desses mesmos TTFs.
8. Inferência de relacionamentos horizontais de camada inferior quando são conhecidos relacionamentos horizontais de camada superior:
- Conhecido que existe uma trilha relacionando TCPs que mediam a entrada de um AF origem e a saída de um AF destino, então é possível inferir que haverá uma trilha que relaciona APs que mediam a saída deste TTF origem e a entrada do TTF destino.
9. Relacionamento de suporte (submodelo suporte de componentes):
- A inferência do suporte de um LC unidirecional de fim por um link físico é trivial. Há a necessidade de regras mais complexas para a definição de quais conexões de salto formam um "caminho" entre dois TCPs. Estas dão suporte a um NC que media os dois TCPs que são os extremos dos caminhos.
10. Restringindo relação *source-sink Path LC connection* a AFs do tipo CP diferentes:
- A modelagem do relacionamento *source-sink Path LC connection* permite que essa ligação ocorra de um AF do tipo CP para ele mesmo, o que não é válido. Deve haver uma regra que restrinja essa possibilidade.

5.6 CONCLUSÕES

É apresentado neste capítulo o modelo conceitual em ontologia da recomendação ITU-T G.805 dividido em onze submodelos, que correspondem a maior parte do trabalho produzido. Também são apresentados exemplos de regras lógicas de

restrição, que restringem o modelo para que este apenas represente o que é desejado, e regras lógicas de derivação, onde novos conhecimentos são inferidos a partir das informações já conhecidas. Uma versão ampliada dos submodelos aqui descritos pode ser encontrada no Anexo I desta dissertação.

Acredita-se que este modelo corresponde a uma versão ontologicamente fundamentada da recomendação ITU-T G.805, identificando e eliminando vários problemas conceituais. Estes problemas e uma proposta de solução para eles, em que sejam garantas consistência, completude e falta de ambiguidade são abordados no capítulo 4.

6 CONCLUSÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar as conclusões do trabalho desenvolvido. São apresentados os resultados obtidos, realizadas considerações finais e definidos trabalhos futuros.

6.1 RESULTADOS

Como primeiro resultado gerado diretamente desta dissertação, cita-se o artigo (MONTEIRO *et al.*, 2010), em que é apresentada uma versão preliminar da ontologia desenvolvida e detalhada nesta dissertação. Esta ontologia da Recomendação ITU-T G.805 também é base para o trabalho apresentado em (MONTEIRO, 2010), em que é proposta uma arquitetura de *software* cujo objetivo é facilitar a criação de sistemas de autogerenciamento. Os resultados da avaliação ontológica da recomendação apresentadas no capítulo 4 resultaram no artigo publicado em (BARCELOS *et al.*, 2011).

Nesta dissertação, a análise arquitetural dos componentes da Recomendação ITU-T G.805 é encontrada na seção 3.2. Essa análise visa auxiliar o usuário, assim como simplificar o entendimento da recomendação, uma vez que ela estrutura melhor o conhecimento já contido na especificação, apontando dependências, funções e possibilidades de inferências dos conceitos a partir das ligações entre componentes físicos (Figura 6-1 ilustra o exemplo de inferência realizado na seção 3.2.3). Essa análise também sugere o uso de diferentes visões (visão vertical ou de transporte e visão horizontal ou topológica), um conceito que, se adotado, ajudaria usuários da recomendação a selecionar melhor componentes a serem usados em diferentes circunstâncias, reduzindo a possibilidade de erros.

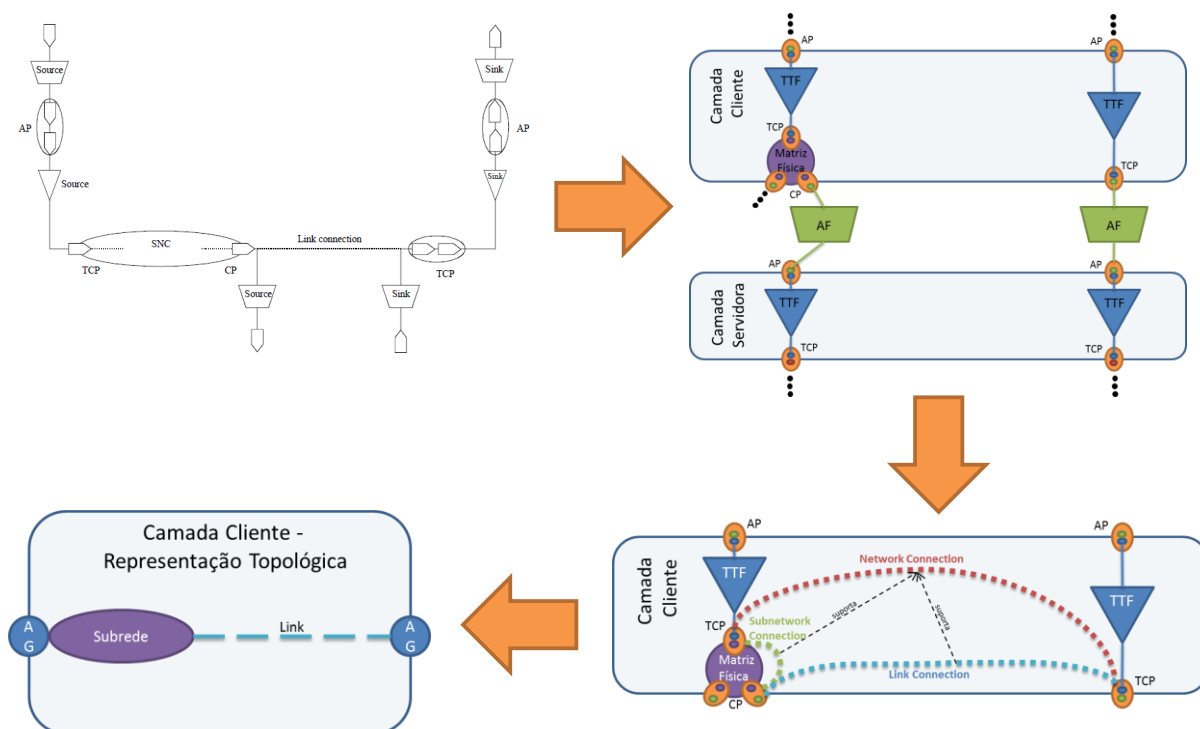


Figura 6-1 - Exemplo de inferência de componentes

O capítulo 4 apresenta como resultado a descoberta de deficiências ontológicas na Recomendação ITU-T G.805. São identificados:

- a incompletude da recomendação no que se trata da falta de um componente físico que de fato realize a transferência de informação entre um lado origem e um lado destino da rede (aqui chamado link físico);
- a incompatibilidade entre o conceito de link (topológico) existente e o link físico proposto para a solução do problema citado;
- a incompletude da recomendação devido a ausência de um conceito que represente a camada de rede na visão de transporte;
- a incompletude da recomendação no que se trata da falta de um conceito que corresponda ao elemento físico matriz, uma vez que o conceito de matriz existe na recomendação como um componente topológico;
- a incompatibilidade entre os conceitos de matriz física e topológica;
- a redundância que existe com os construtores Conexão de Matriz e Conexão de Sub-rede;
- a definição recursiva de pontos de referência (definidos a partir de entidades de transporte) e de entidades de transporte (definidas a partir de pontos de referência);

- a sobrecarga de construtores na definição de TCP, uma vez que existe um único conceito de TCP que representa três conceitos diferentes: o TCP de caminho, de fim e o do tipo PM TCP;
- e o excesso de construtores na definição do CP, quando há duas definições de CP existentes na especificação, porém inexistentes no domínio de redes de transporte.

O resultado obtido no capítulo 5 é o modelo de referência para as redes de transporte, dividido em submodelos, que contemplam todo o domínio. Todos esses submodelos são apresentados com suas principais características. O capítulo também apresenta algumas regras lógicas de restrição e de inferência de novos conhecimentos do domínio. Este modelo de referência é a principal contribuição desta dissertação, devendo servir como base para aplicações inteligentes e também como base para outros modelos de tecnologias específicas de rede de transporte, onde estes podem ampliar o modelo conceitual aqui desenvolvido e/ou instanciá-lo.

6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante ressaltar que a ausência de modelagem de alguns tópicos da recomendação ITU-T G.805 não restringe o trabalho de forma significativa, visto que os tópicos que ainda não estão modelados utilizam a arquitetura modelada. Isto é, os tópicos de monitoramento e supervisão de conexões, e os outros não modelados, correspondem a situações específicas dos componentes arquiteturais modelados. Conhecendo a estrutura e possibilidades de ligações desses componentes, a modelagem dos tópicos excluídos do escopo desta dissertação torna-se simples.

Outra ressalva feita é a de que se optou por apenas listar as regras e apresentar apenas alguns exemplos na seção 5.5.

6.3 TRABALHOS FUTUROS

Uma vez construído um modelo de referência para o domínio de redes de transporte, muitos são os possíveis trabalhos futuros a partir deste modelo.

Um primeiro trabalho futuro a ser citado é a extensão do modelo para capturar outros aspectos da Recomendação ITU-T G.805 que estão fora do escopo de modelagem desta dissertação. Esses aspectos incluem a decomposição de camadas de rede em subcamadas, e as técnicas de supervisão, proteção e monitoramento de conexões.

Sugere-se também a elaboração de representação visual adequada para os novos conceitos introduzidos pelo modelo (novos componentes criados para eliminar deficiências ontológicas). As novas representações visuais devem ser claras e auxiliar o leitor no entendimento da recomendação. Por exemplo, por ausência de representação visual dos novos conceitos, foi aqui utilizada a mesma representação visual para camadas de rede de transporte e topológicas. É sugerida a diferenciação das formas de representações dos dois conceitos.

Há também a possibilidade de expansão do modelo para representar outras recomendações de tecnologias específicas de redes de transporte, como, por exemplo, a recomendação ITU-T G.872, para as redes ópticas de transporte, bem como as recomendações ITU-T G.798, ITU-T G.800, ITU-T G.806 e ITU-T G.809.

Sugere-se também a checagem validação do modelo utilizando Alloy (JACKSON, 2000). Alloy é uma linguagem desenvolvida no MIT por Daniel Jackson e seu time e é usada para expressar restrições estruturais complexas e comportamentos. Alloy é um solucionador de restrição com simulação e verificação automática e completa. O analisador Alloy gera todas as possíveis instâncias de um modelo, mostrando se suas propriedades são satisfeitas ou não (NIMIYA *et al.*, 2010). Um exemplo de ferramenta que transforma automaticamente um modelo OntoUML para Alloy pode ser encontrado em (BENEVIDES *et al.*, 2009).

Com a existência do modelo de referência, é possível a criação de uma linguagem específica de domínio (DSL) para a área de redes de transporte. Uma descrição das vantagens da utilização de DSLs é encontrada na seção 2.2.1.

Outro possível trabalho futuro é a implementação do modelo em uma linguagem de implementação de ontologias, como por exemplo, OWL. Visto que essas linguagens são focadas em aspectos computacionais (como, por exemplo, tratabilidade e decidibilidade) em detrimento da expressividade, há perda de informação do modelo neste processo.

Uma vez implementado o modelo em alguma linguagem, é possível a criação de aplicações baseadas nesta implementação. Os exemplos de um editor inteligente e uma proposta de serviços semânticos relacionados ao autogerenciamento em Redes Ópticas de Transporte são apresentados nas seções 2.2.2 e 2.2.3, respectivamente.

Outras possibilidades de aplicações que utilizariam a implementação do modelo conceitual aqui produzido como base são aplicações capazes de, por exemplo:

- auxiliar a configuração de redes;
- realizar planejamento de capacidade e simulação de redes;
- correlacionar alarmes e indicadores monitorados dentro de uma rede com múltiplas tecnologias (camadas de tecnologias diferentes);
- estabelecer e monitorar o nível de serviço fim-a-fim em uma rede, incluindo as dependências, as capacidades e a função de cada elemento de rede que afeta esse serviço.

7 BIBLIOGRAFIA

BARCELOS, P. P. F. **Uma Proposta de Modelo de Ontologia para Arquitetura de Redes Ópticas de Transporte**. Projeto de Graduação. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

BARCELOS, P. P. F. et al. OOTN - An Ontology Proposal for Optical Transport Networks. **International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT)**, St. Petersburg, 2009. 1-7.

BARCELOS, P. P. F. et al. Ontological Evaluation of the ITU-T Recommendation G.805. **18th International Conference on Telecommunications (ICT 2011)**, Ayia Napa, 08-11 Maio 2011. 261-266.

BENEVIDES, A. B. et al. Assessing Modal Aspects of OntoUML Conceptual Models in Alloy. **International Workshop on Evolving Theories of Conceptual Modeling (ETheCoM 2009)**, Gramado, Brasil, 2009.

FETTKE, P.; LOOS, P. Ontological Analysis of Reference Models. In: GREEN, P.; ROSEMAN, M. **Business Systems Analysis with Ontologies**. Hershey: Idea Group Publishing, 2005. p. 56-81.

FIKES, R. Multi-use Ontologies. **Stanford University**, 06 Novembro 1998. Disponível em: <<http://www-ksl.stanford.edu/people/fikes/cs222/1998/Ontologies/index.htm>>. Acesso em: 05 Janeiro 2011.

FRANK, U. **Conceptual modelling as the core of the information systems discipline - Perspectives and epistemological challenges**. Proceedings of the Fifth Americas Conference on information Systems (AMCIS 1999). Milwaukee: [s.n.]. 1999. p. 695-697.

GAŠEVIĆ, D.; DJURIĆ, D.; DEVEDŽIĆ, V. **Model Driven Architecture and Ontology Development**. [S.l.]: Springer, 2006.

GONÇALVES, B. et al. An Ontology-based Application in Heart Electrophysiology: Representation, Reasoning and Visualization on the Web. **SAC '09 Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing**, New York, 2008.

GUARINO, N. Formal Ontology and Information Systems. **International Conference on Formal Ontology and Information Systems (FOIS)**, Trento, Itália, 6-8 June 1998. 3-15.

GUIZZARDI, G. **Ontological Foundations for Structural Conceptual Models**. Enschede: Telematica Instituut Fundamental Research Series, 2005.

GUIZZARDI, G. et al. On the Importance of Truly Ontological Distinctions for Ontology Representation Languages: An Industrial Case Study in the Domain of Oil and Gas. **Enterprise, Business-process and Information Systems Modeling**, v. 29, 2009. ISSN DOI: 10.1007/978-3-642-01862-6_19.

GUIZZARDI, G.; HALPIN, T. Ontological foundations for conceptual modelling. **Applied Ontology**, v. 3, p. 91-110, 2008.

GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. Towards Ontological Foundations for Agent Modelling Concepts Using the Unified Foundational Ontology (UFO). **Agent-Oriented Information Systems (AOIS), selected revised papers of the Sixth International Bi-Conference Workshop on Agent-Oriented Information Systems**, 2005.

HORRIDGE, M. Practical Guide To Building OWL Ontologies Using Protégé 4 and CO-ODE Tools. **http://www.cs.man.ac.uk/~horridgm/**, 13 Março 2009. Disponível em: <<http://owl.cs.manchester.ac.uk/tutorials/protegeowltutorial/>>. Acesso em: 15 Dezembro 2010.

INIEWSKI, K.; MCCROSKY, C.; MINOLI, D. **Network Infrastructure and Architecture**. New Jersey: Hoboken, 2008.

ITU-T. **ITU-T Recommendation G.805: Generic functional architecture of transport networks**. International Telecommunication Union (ITU). [S.l.], p. 58. 2000.

ITU-T. **ITU-T Recommendation G.872 : Architecture of optical transport networks**. International Telecommunication Union (ITU). [S.l.], p. 72. 2001.

ITU-T. **ITU-T Recommendation G.798 : Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks**. International Telecommunication Union (ITU). [S.l.], p. 384. 2010.

JACKSON, D. **Automating first-order relational logic**. SIGSOFT '00/FSE-8: Proceedings of the 8th ACM SIGSOFT international symposium on Foundations of software engineering. New York: ACM Press. 2000. p. 130-139.

KELLY, S.; TOLVANEN, J.-P. **Domain-Specific Modeling - Enabling Full Code Generation**. Hoboken: Wiley-Interscience, 2008. ISBN ISBN 978-0-470-03666-2.

MONTEIRO, M. E. **Uma Proposta de Serviços Semânticos Relacionada ao Autogerenciamento em Redes Ópticas de Transporte**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

MONTEIRO, M. E. et al. Ontology Based Model For The ITU-T Recommendation G.805: Towards The Self-management Of Transport Networks. **International journal of computer science & information Technology (IJCSIT)**, v. 2, n. 2, p. 155-170, Abril 2010.

MYLOPOULOS, J. Information Modeling in the Time of the Revolution. **Information Systems**, v. 23, n. 3-4, p. 127-155, June 1998.

NIMIYA, A. et al. Model checking consistency of UML diagrams using Alloy. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, 2010.

O'CONNOR, M. et al. Supporting Rule System Interoperability on the Semantic Web with SWRL. **ISWC 2005, LNCS 3729**, 2005.

OBJECT MANAGEMENT GROUP. UML - Unified Modeling Language. **UML® Resource Page**, 2011. Disponível em: <<http://www.uml.org>>. Acesso em: 29 Janeiro 2011.

PATEL-SCHNEIDER, P. F.; HORROCKS, I. A comparison of two modelling paradigms in the Semantic Web. **Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web**, n. 5, p. 240–250, 2007.

RESEARCH GROUP SYSTEM AND NETWORK ENGINEERING. Network Description Language. **Research Group System and Network Engineering (SNE)**, 2011. Disponível em: <<http://www.science.uva.nl/research/sne/ndl/>>. Acesso em: 07 Fevereiro 2011.

SCHEER, A. W. **Business process engineering - Reference models for industrial enterprises**. 2nd. ed. Berlin: Springer, 1994.

SCHEER, A. W.; HARS, A. Extending data modeling to cover the whole enterprise. **Communications of the ACM**, v. 35, n. 9, p. 166-172, 1992.

SMITH, M. K.; WELTY, C.; MCGUINNESS, D. L. OWL Web Ontology Language Guide. **W3C**, 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/owl-guide/>>. Acesso em: 01 Outubro 2005.

STANFORD CENTER FOR BIOMEDICAL INFORMATICS RESEARCH. The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System. **Protégé**, 2009. Disponível em: <<http://protege.stanford.edu/>>. Acesso em: 27 Fevereiro 2009.

W3C. Resource Description Framework (RDF) / W3C Semantic Web. **Resource Description Framework (RDF)**, 2009. Disponível em: <<http://www.w3.org/RDF/>>. Acesso em: 07 Dezembro 2009.

WAND, Y.; WEBER, R. Research commentary: Information systems and conceptual modeling - A research agenda. **Information Systems Research**, v. 13, n. 4, p. 363-377, 2002.

WOODCOCK, J.; DAVIES, J. **Using Z: Specification, Refinement and Proof**. Hertfordshire: Prentice Hall Europe, 1996.

ZAMBORLINI, V. C. **Implementação de uma Ontologia de Referência de Eletrocardiograma com Análise da Perda de Expressividade**. Projeto de Graduação. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

ANEXO I – MODELO DE REFERÊNCIA PARA A RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805

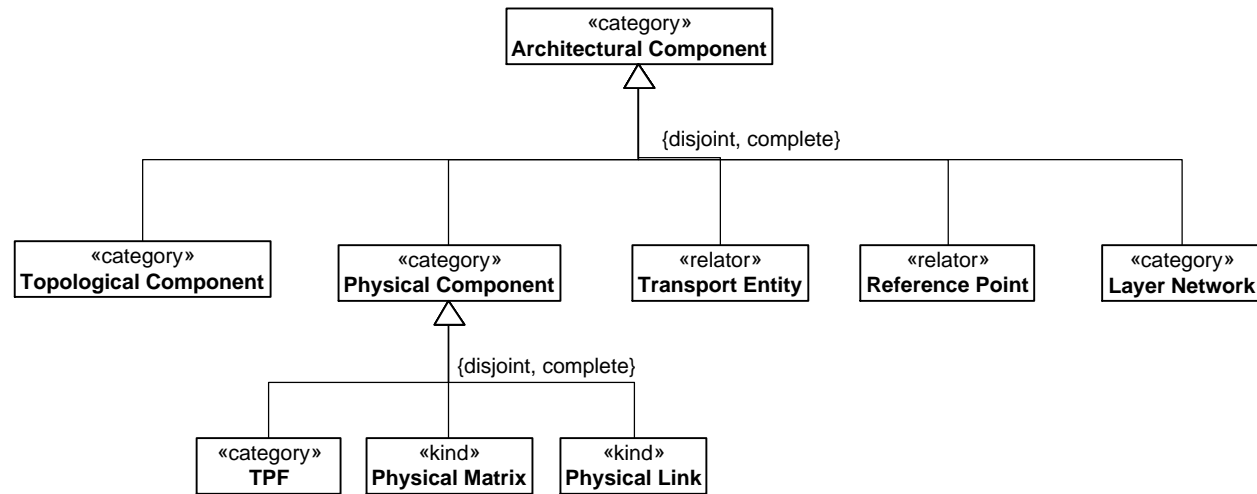


Figura I- 1 - Submodelo Componentes Arquiteturais

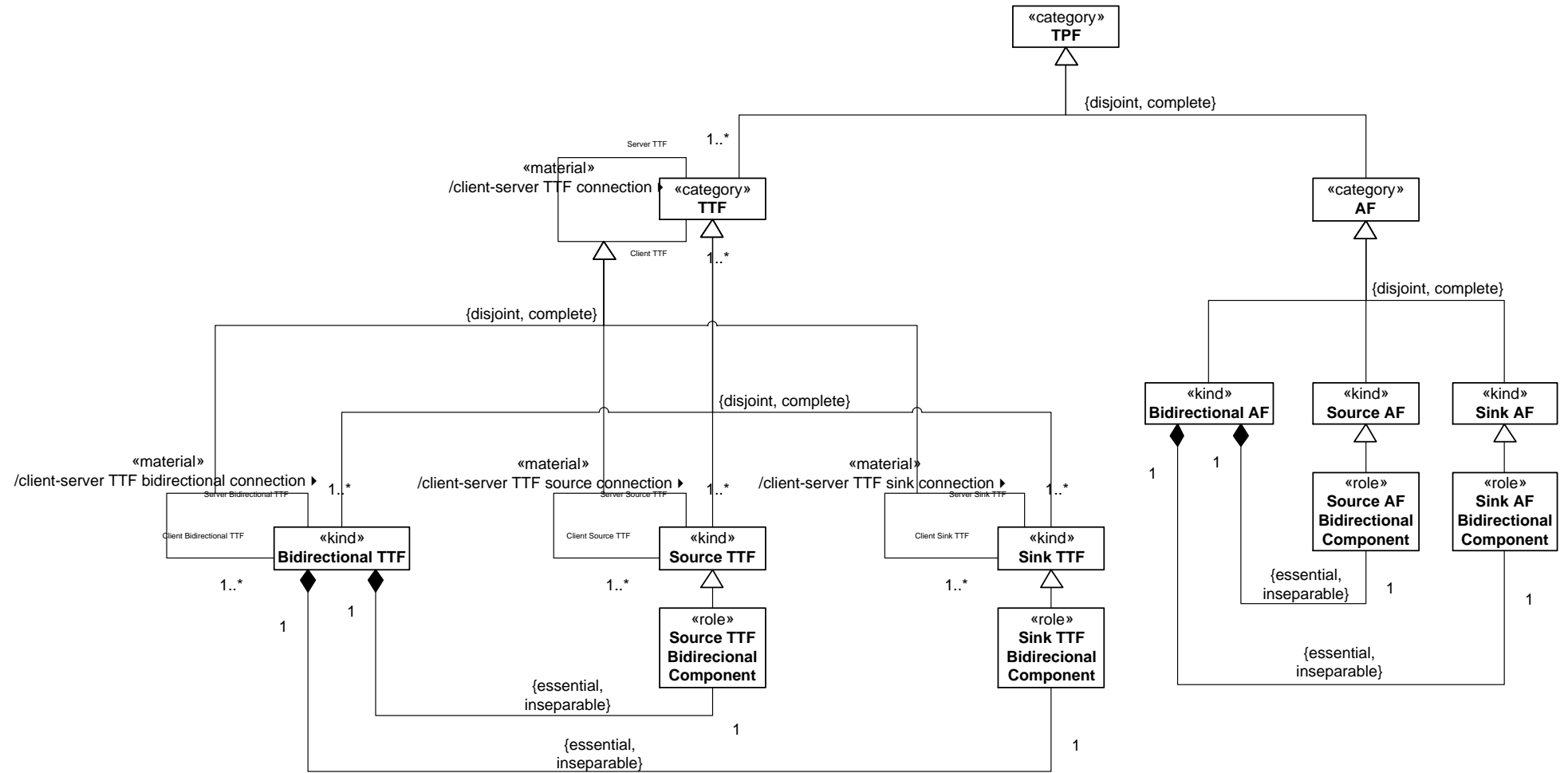


Figura I- 2 - Submodelo Funções de Processamento de Transporte

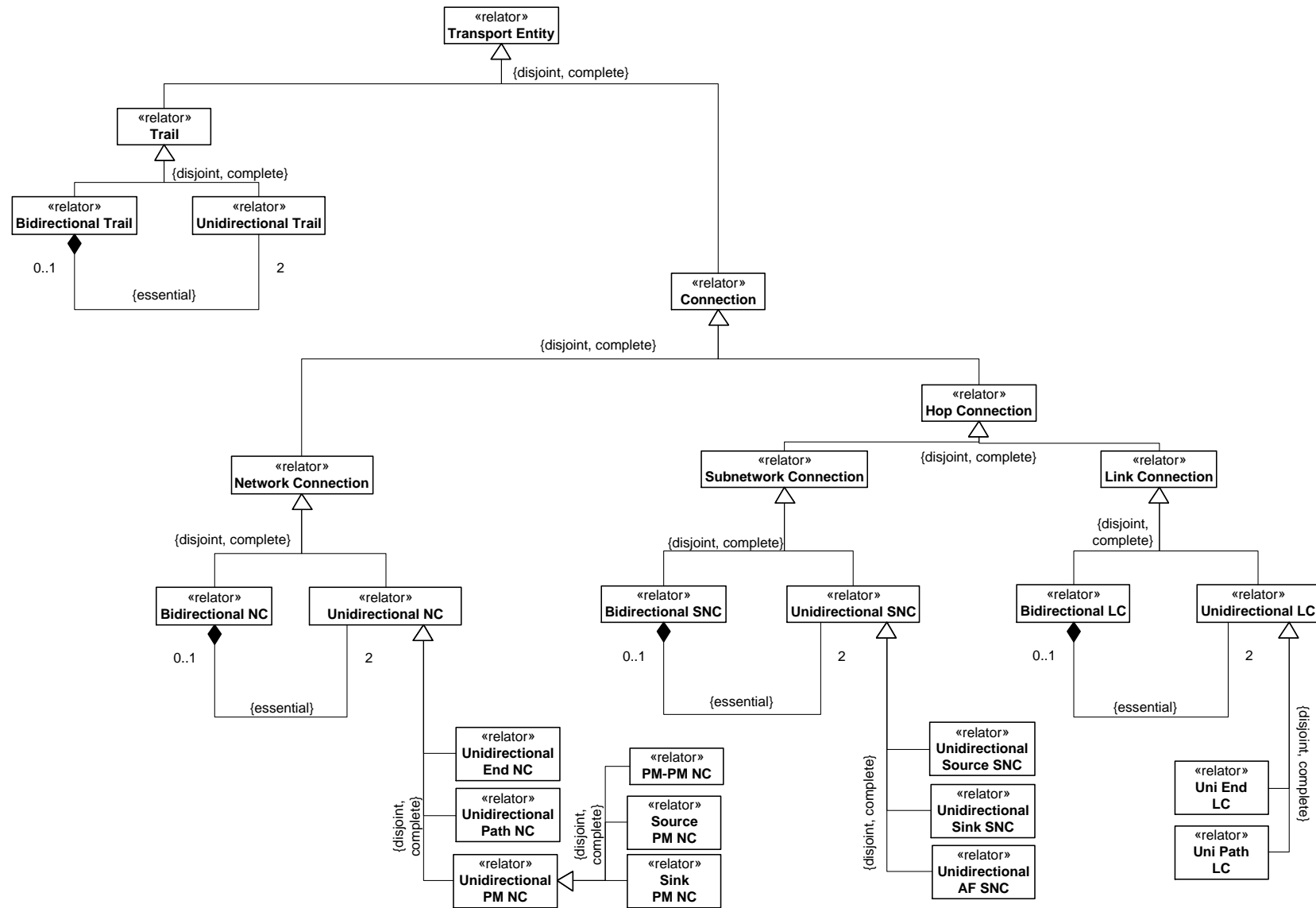


Figura I- 3 - Submodelo Entidades de Transporte

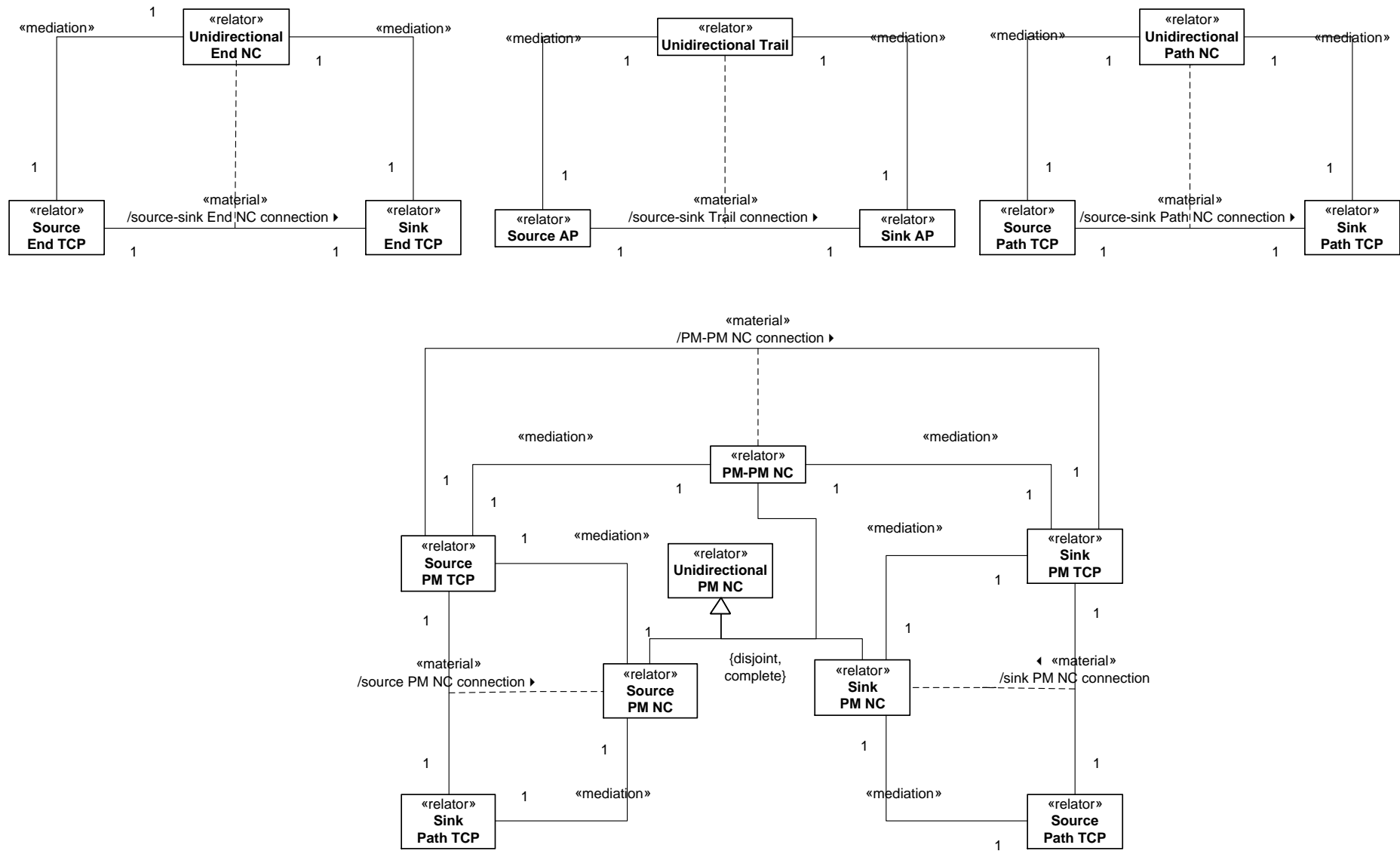


Figura I- 4 - Submodelo Relacionamentos Horizontais

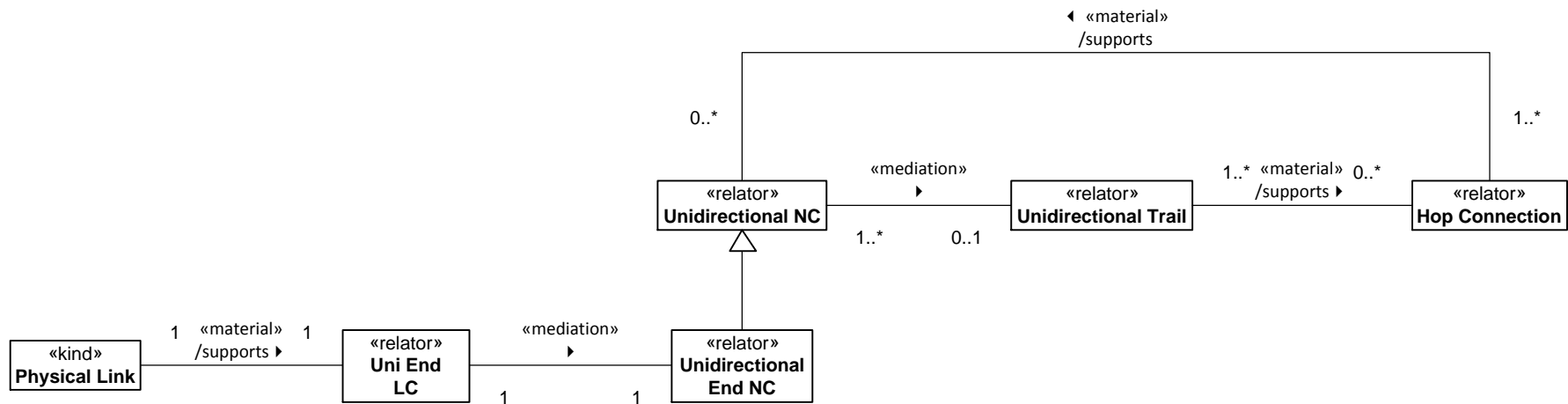


Figura I- 6 - Submodelo Suporte de Componentes

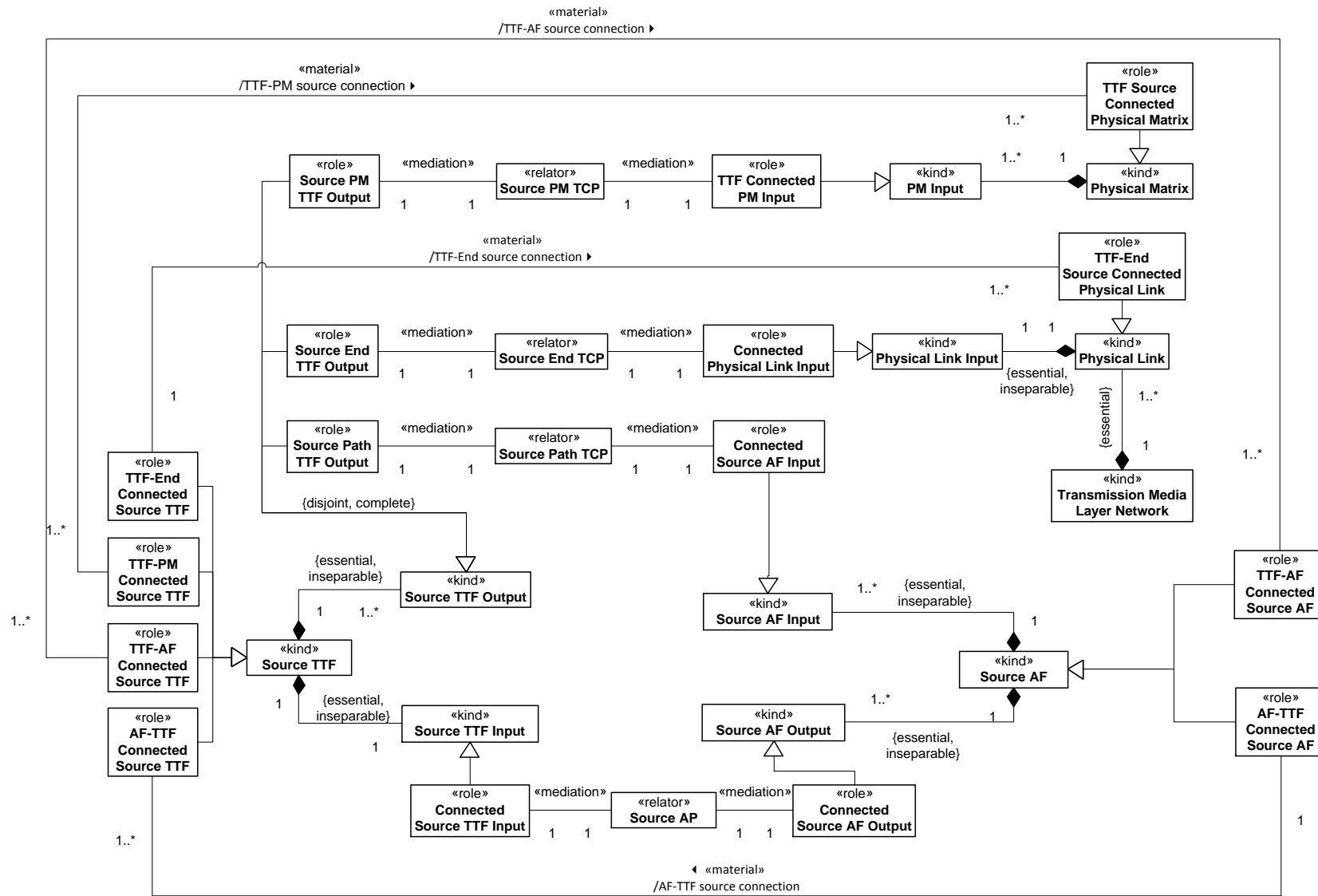


Figura I- 7 - Submodelo TPF Origem

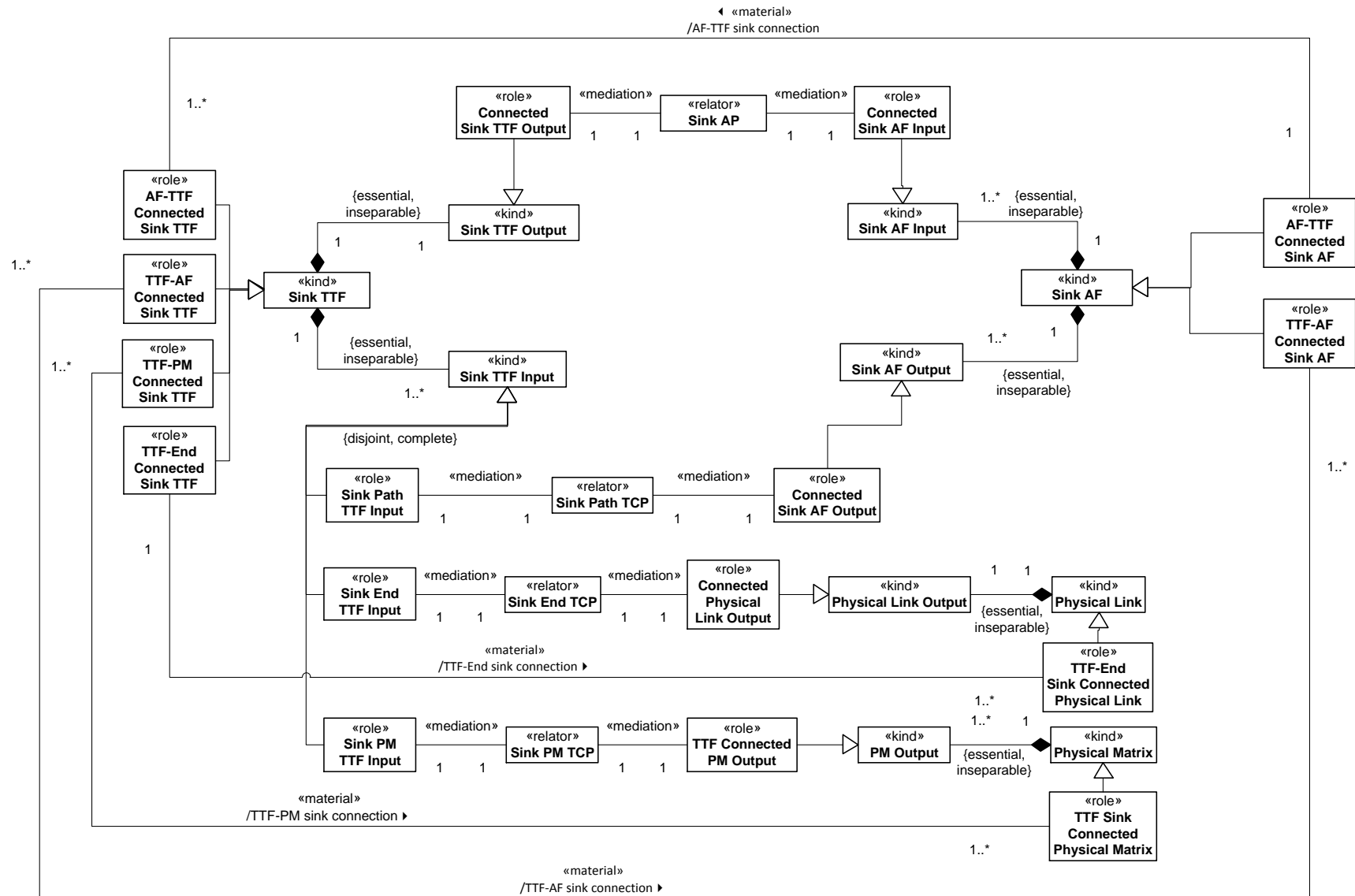


Figura I- 8 - Submodelo TPF Destino

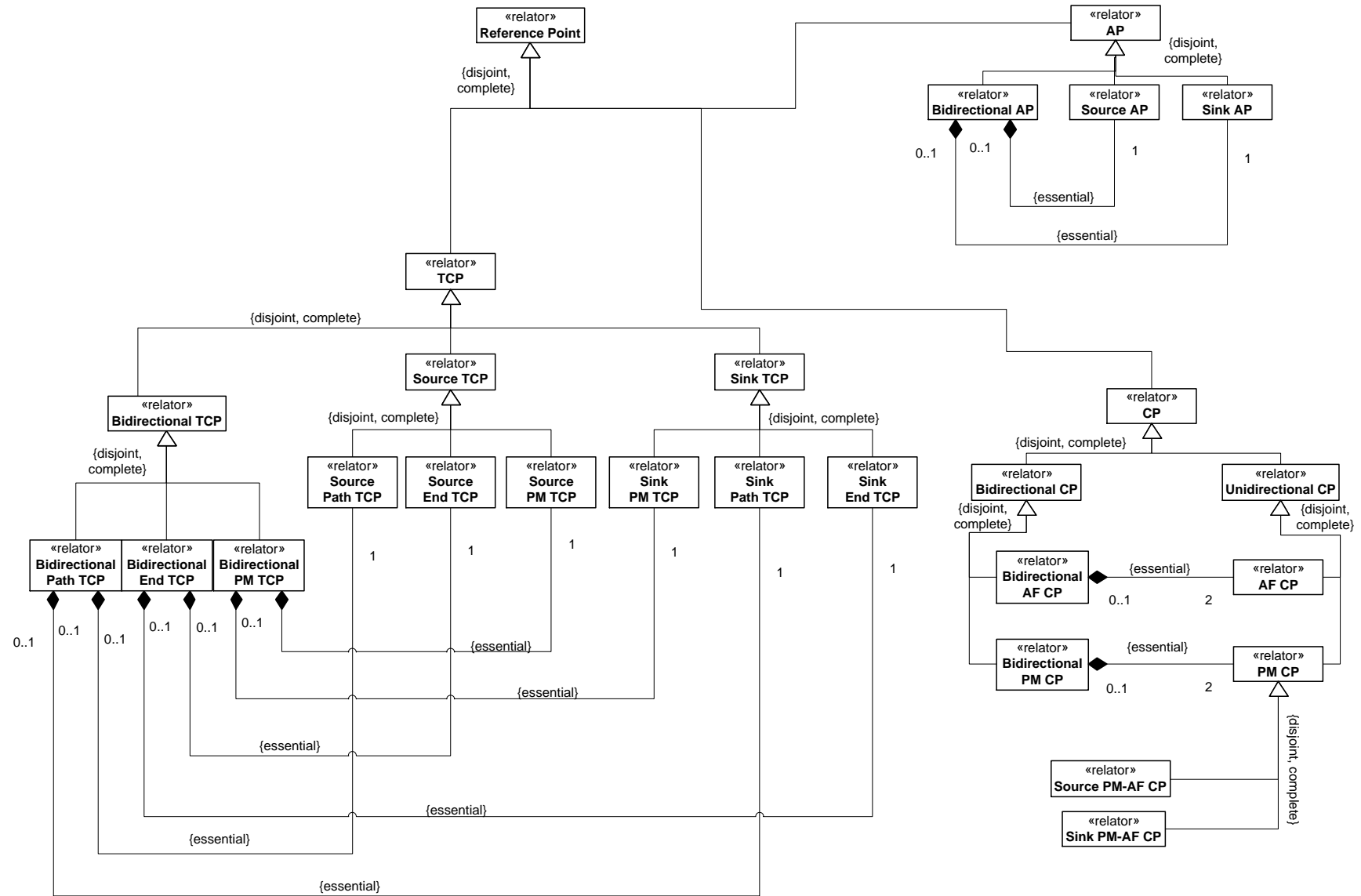


Figura I- 9 - Submodelo Pontos de Referência

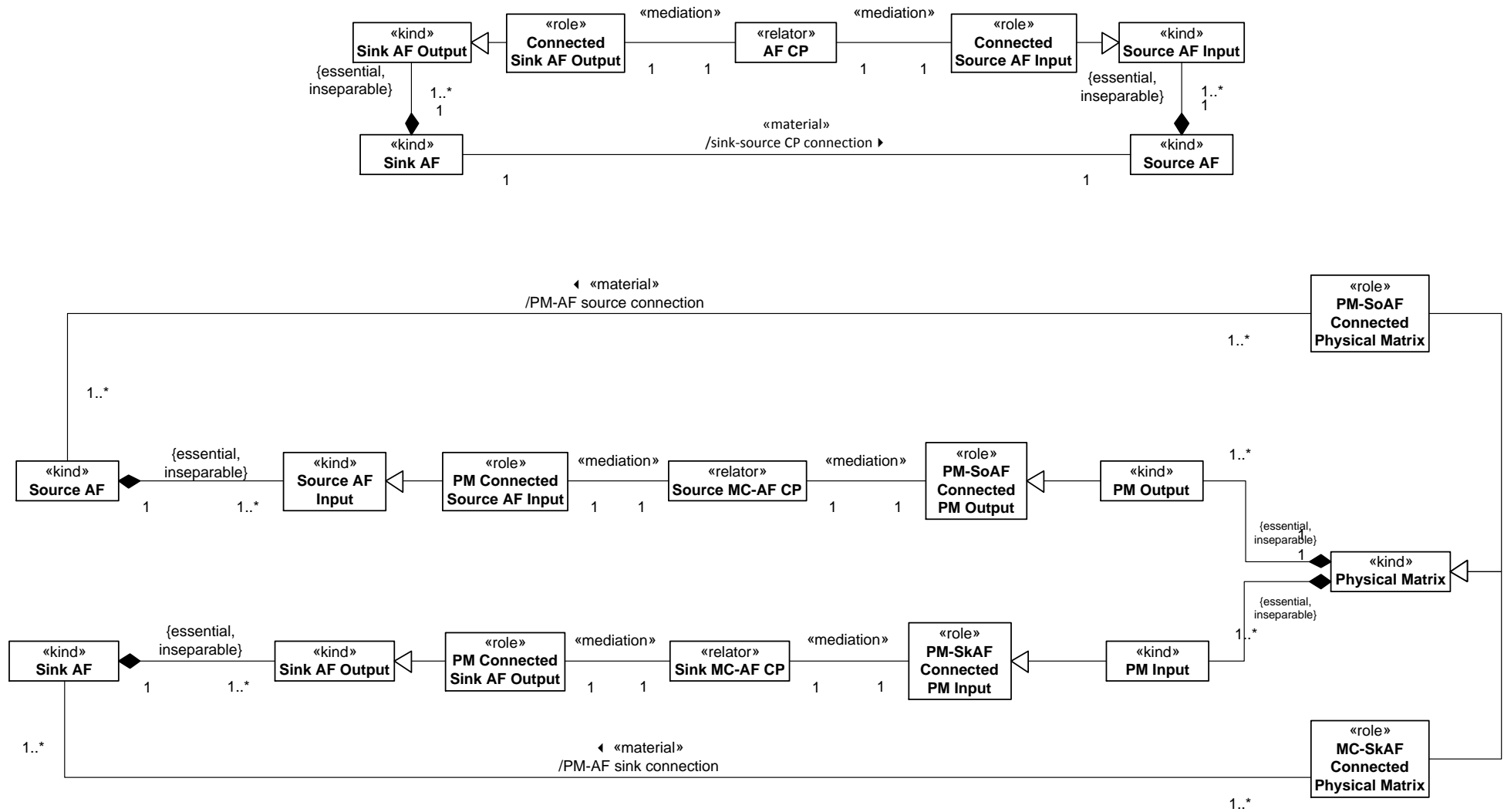


Figura I- 10 - Submodelo Pontos de Conexão

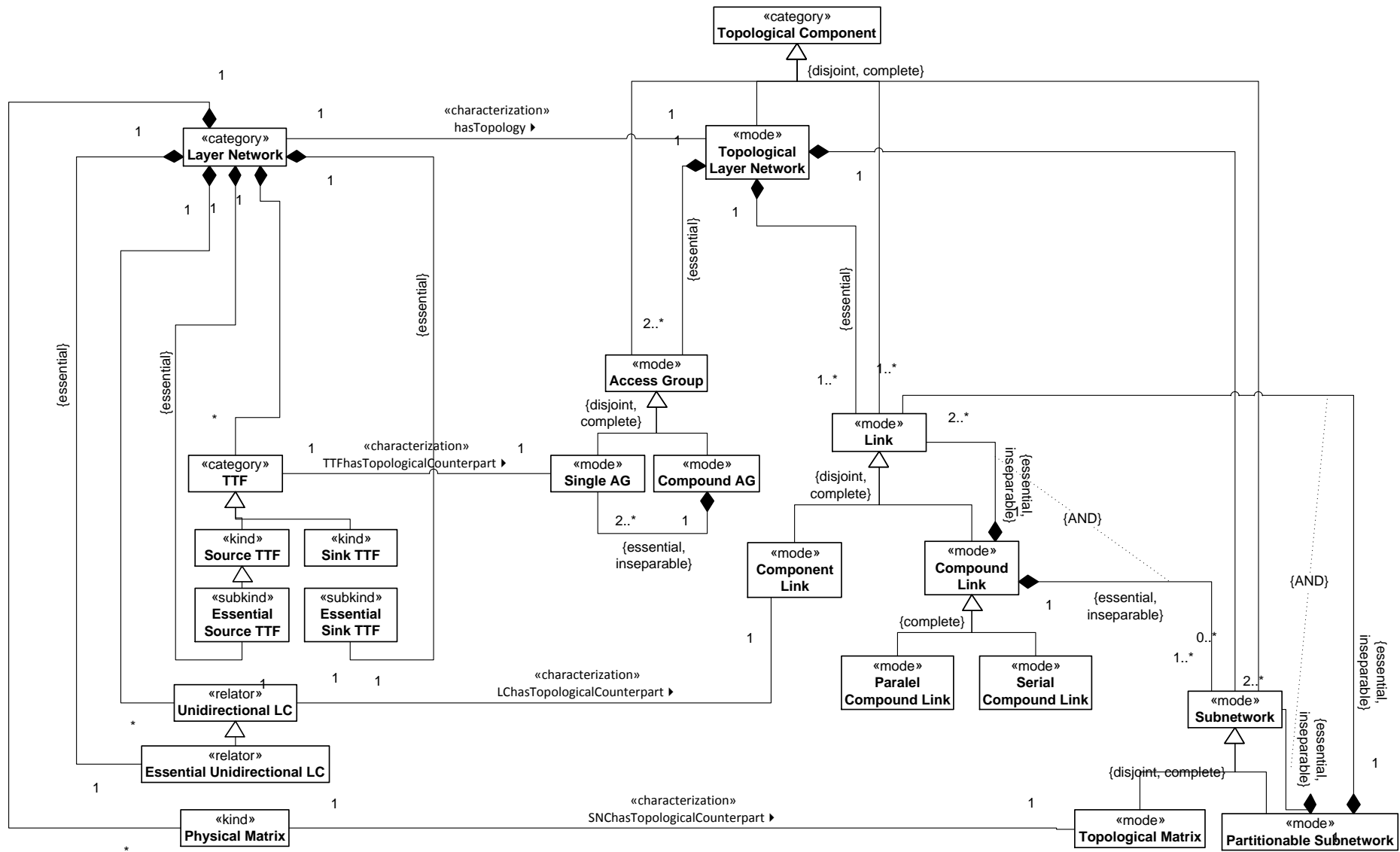


Figura I- 11 - Submodelo Componentes Topológicos

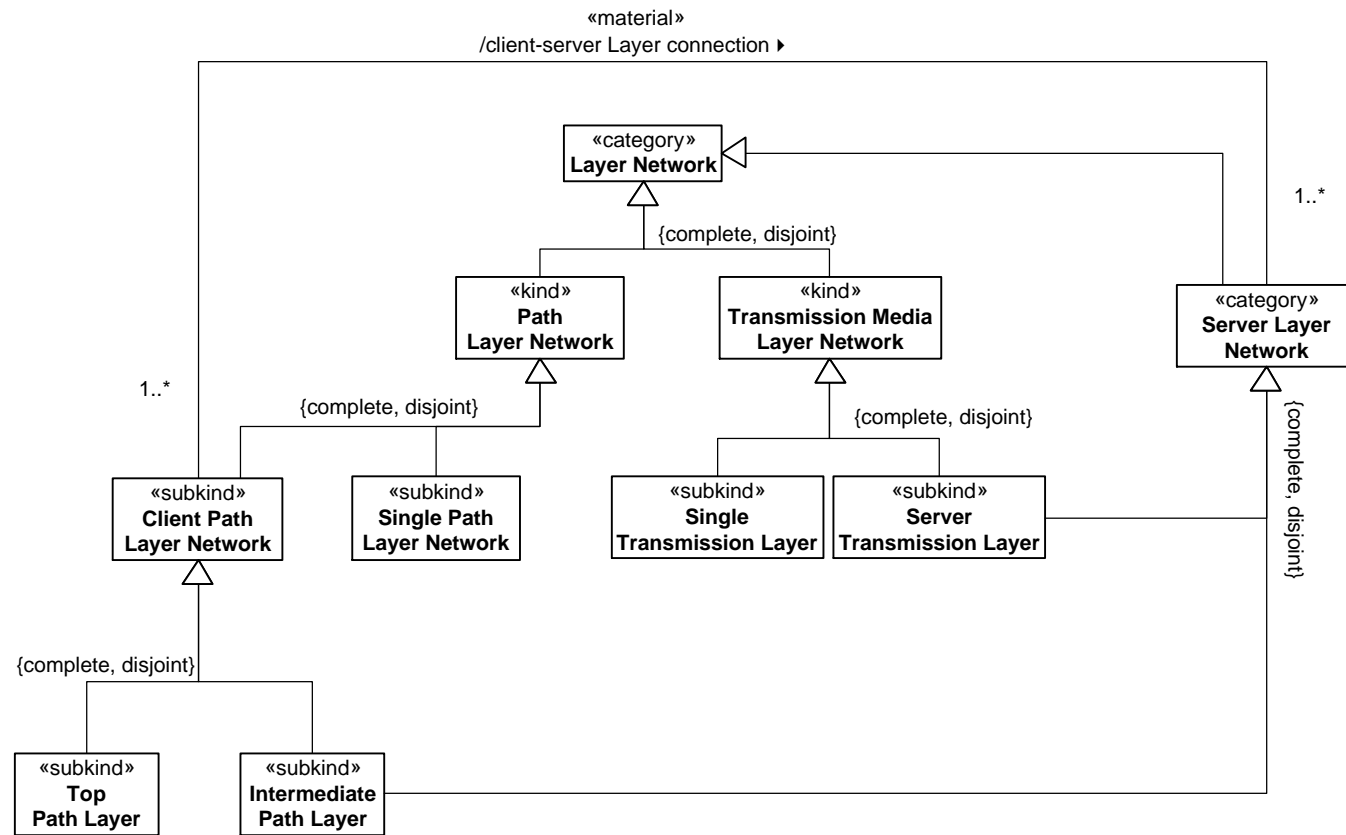


Figura I- 12 - Submodelo Camadas de Rede e Relacionamento Cliente/Servidor